



**Bouw**

Van Mourik Broekmanweg 6  
Postbus 49  
2600 AA Delft

www.tno.nl

T +31 15 276 30 00

F +31 15 276 30 10

info-BenO@tno.nl

**TNO-rapport**

**2008-D-R0437**

**Evaluatie Constructie Joint Support Ship**

Datum	15 maart 2008
Auteur(s)	Ir. T.N. Bosman
Rubricering rapport	Ongerubriceerd
Vastgesteld door	Ir. A. van der Made
Vastgesteld d.d.	23 mei 2008
Titel	Ongerubriceerd
Managementuittreksel	Ongerubriceerd
Samenvatting	Ongerubriceerd
Rapporttekst	Ongerubriceerd
Bijlagen	Ongerubriceerd
Exemplaarnummer	10
Oplage	11
Aantal pagina's	152 (incl. bijlage, excl. RDP & distributielijst)
Aantal bijlagen	1

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

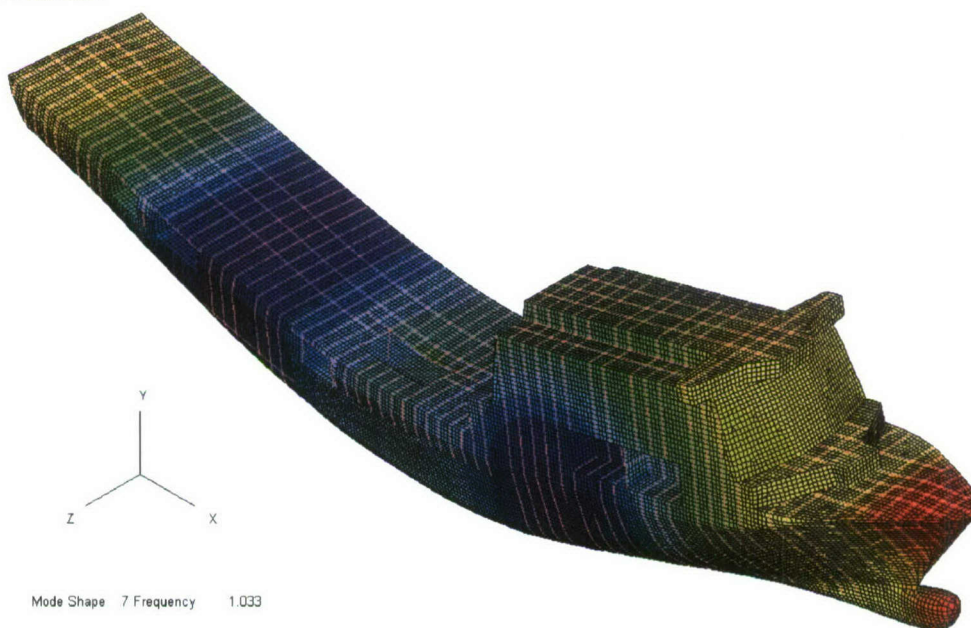
Indien dit rapport in opdracht van het ministerie van Defensie werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van de opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de 'Modelvoorwaarden voor Onderzoeks- en Ontwikkelingsopdrachten' (MVDT 1997) tussen de minister van Defensie en TNO indien deze op de opdracht van toepassing zijn verklaard dan wel de betreffende ter zake tussen partijen gesloten overeenkomst.

© 2008 TNO

AQ F08-12-11066

## Evaluatie Constructie Joint Support Ship

In samenwerking met DMO is een FE-model gemaakt van de scheepsconstructie van het Joint Support Ship, dat voor de Koninklijke Marine door DMO in samenwerking met KSG wordt ontworpen. Door de combinatie van zeer uiteenlopende functies en taken bevat de constructie een aantal overgangen en verstoringen die middels een eindige elementen model worden beoordeeld op sterkte en levensduur.



### Probleemstelling

In het ontwerp van het JSS zijn een aantal operationele functies samengebracht. Het schip dient o.a. een transportfunctie te vervullen, schepen op zee te bevoorraden en is een platform voor helikopteroperaties. Deze verschillende functies zijn aanleiding tot een scheepsconstructie waarvoor weinig referentiemateriaal bestaat: een hybride vorm van helikoptercarrier met een RORO dek en grote olievoorraadtanks. In een additioneel gefinancierd project is TNO gevraagd een door DMO ontwikkeld eindige elementen model te valideren en onzekerheden in zowel gewicht als constructief ontwerp te inventariseren.

### Beschrijving van de werkzaamheden

Het aangeleverde model is gebaseerd op een eerste constructieve ontwerp van de KSG op basis van Det Norske Veritas ontwerpregels. Dit eerste ontwerp is door KSG deels verder uitgewerkt. Het model is aangepast aan deze laatste informatie. De gewichtsverdeling van de constructie in dit model is vergeleken met de gegevens uit de gewichtsberekening van KSG. Deze vergelijking is gemaakt om DMO meer inzicht te geven in de achtergronden van het constructiegewicht.

Het rekenmodel is verder gebruikt voor berekenen van de spanningsverdeling in verschillende belastingscondities. Deze berekeningen worden uitgevoerd ter validatie van het constructief ontwerp. Daarnaast zijn de eigenfrequenties en trilvormen berekend van het schip trillend

in water. Deze berekeningen hebben tot doel de frequenties te bepalen waarop geen excitatie mag plaatsvinden door bijvoorbeeld de schroef. Met deze berekeningen worden de eigen frequenties vene 1-knoops torsie en 4-knoops buigtrilling bepaald. Het bestek eist dat de eigenfrequenties van de dekken groter zal zijn dan de hoogste van deze twee berekende trilvormen.

### Resultaten en conclusies

Uit de vergelijking van de gewicht volgen geen grote verschillen. Zoals verwacht is het model ~13% lichter dan de gewichtsberekening van KSG aangeeft. Voor de helft van het verschil wordt een aannemelijke verklaring gevonden. Voor 6% van het totale gewicht is echter geen



verklaring te geven. Indien het resterende verschil hiertoe aanleiding is zou door de KSG gewichtsberekening in meer detail te analyseren de oorzaken voor de verschillen zichtbaar gemaakt kunnen worden.

De sterkteberekening geeft aan dat de spanningen globaal voldoen aan de eisen die het klasse bureau stelt. Ten aanzien van de vermoedingslevensduur is op een aantal de levensduur kleiner dan door DMO gewenst. Lokaal zal de constructie versterkt moeten worden.

De resultaten van dit project geeft inzicht in de risico's in het ontwerp. Een belangrijke onzekerheid blijft het gewicht en ligging van gewichtszwaartepunt. Het initieel constructief ontwerp voldoet globaal aan de spanningseisen gesteld door DNV. Hierbij wordt echter wel opgemerkt dat niet alle door DNV gestelde criteria van toepassing zijn op FE-berekeningen. De berekening geeft aan welke maatregelen er in de constructie getroffen moeten worden om te voldoen aan de eisen ten aanzien van de levensduur.

### Toepasbaarheid

PROGRAMMA	PROJECT
Programmabegeleider Ir. A. van der Made, DMO, Ressort Zee	Projectbegeleider Ir. A. van der Made, DMO, Ressort Zee
Programmaleider Ir. A. Schilt, TNO D&V	Projectleider Ir. T.N. Bosman, TNO B&O
Programmatitel Platformtechnologie	Projecttitel Evaluatie constructie Joint Support Ship
Programmanummer V603	Projectnummer 034.87410
Programmaplanning Start 15-5-2006 Gereed 1-6-2010	Projectplanning Start 1-10-2007 Gereed 30-01-2008
Toezichthouder	
Frequentie van overleg Met de programma/projectbegeleider werd 8 maal gesproken over de invulling en de voortgang van het onderzoek.	Projectteam

### Contact en rapportinformatie

Het Centrum voor Mechanische en Maritieme Constructies (CMC) biedt de werktuigkundige en maritieme markt oplossingen op het gebied van dynamisch gedrag van constructies. Hierbij zetten wij hoogwaardige kennis van toegepaste mechanica in voor theoretisch en experimenteel onderzoek naar materialen, constructies en systemen.

Bouw  
Van Mourik Broekmanweg 6  
Postbus 49  
2600 AA Delft

T +31 15 276 30 00  
F +31 15 276 30 10

info-BenO@tno.nl

**TNO-rapportnummer**  
2008-D-R0437

**Opdrachtnummer**  
034.87410/01.01

**Datum**  
15 maart 2008

**Auteur(s)**  
Ir. T.N. Bosman

**Rubricering rapport**  
Ongerubriceerd

## Samenvatting

In samenwerking met DMO is een FE-model gemaakt van de scheepsconstructie van het Joint Support Ship, dat voor de Koninklijke Marine door DMO in samenwerking met KSG wordt ontworpen. Door de combinatie van zeer uiteenlopende functies en taken bevat de constructie een aantal overgangen en verstoringen die middels een eindige elementen model worden beoordeeld op sterkte en levensduur.

Gezien de zeer specifieke eisen gesteld aan het schip is er geen of weinig vergelijkingsmateriaal op basis waarvan een betrouwbare gewichtsschatting kan worden gegeven. Hoewel het niet het primaire doel is van een eindige elementen model, is het model gebruikt voor een vergelijking met de KSG gewichtsberekening. De vergelijking geeft aan dat, het eindige elementen model lichter is dan de gewichtsberekening aangeeft. Voor een groot deel is dit verschil te verklaren uit verschillen tussen het rekenmodel en de indeling van het schip. Veelal betreffen het delen van de constructie die niet in het rekenmodel worden opgenomen, omdat deze geen bijdrage leveren aan de stijfheid en sterkte van het schip. Voor een aantal secties in het schip kan het verschil echter niet verklaard worden op grond van de versterkte gegevens. In totaal is het model 6% lichter dan de berekening aangeeft. Deze 6% heeft een aanzienlijke invloed op de ligging van het zwaartepunt van het casco. De aanbeveling is dan ook de verschillen in meer detail te analyseren waardoor niet noodzakelijkerwijs het gewicht afneemt maar een beter inzicht ontstaat in de risico's in het ontwerp.

De sterkteberekening laat zien dat het schip globaal voldoet aan de eisen gesteld door klasse. Echter rond de grote openingen in het helidek en huid zullen lokaal versterkingen aangebracht moeten worden in de vorm van dikkere beplating. Ook de levensduur van het schip voldoet aan de eisen gesteld in het bestek waarbij echter moet worden opgemerkt dat in het midden van het schip over 30% van de lengte van het schip constructie details met zorg gekozen moeten worden. Constructiedetails die een lokale concentratie veroorzaken zoals gaten en doorvoeringen dienen zorgvuldig geconstrueerd te worden met een K-factor van minimaal 40 MPa. Hierbij wordt opgemerkt dat dit voornamelijk van toepassing is voor het sterktedek en de bodem.





## Inhoudsopgave

	<b>Managementuittreksel .....</b>	<b>3</b>
	<b>Managementuittreksel .....</b>	<b>3</b>
	<b>Samenvatting.....</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Beschrijving van het FE-model .....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>Staalgewicht .....</b>	<b>15</b>
3.1	Overzicht per casco onderdeel .....	15
3.2	Overzicht per sectie .....	16
3.3	Gewichtsschatting, risico .....	21
<b>4</b>	<b>Belastingen .....</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>Resultaten sterkteberekening en vermoeiingsbeoordeling .....</b>	<b>33</b>
5.1	Globale vervormingen en spanningsverdeling .....	33
5.2	Helidek .....	41
5.3	Huidconstructie globaal .....	47
5.4	Dubbele huidconstructie .....	51
5.5	Huidconstructie spant 152-168.....	53
5.6	Huidconstructie voorschip .....	55
5.7	Dubbele bodem en tanktop.....	57
<b>6</b>	<b>Eigenfrequenties .....</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>Conclusies .....</b>	<b>67</b>
<b>8</b>	<b>Ondertekening .....</b>	<b>69</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
	A Eigenschappen Model JSS	
	B Gewichtsberekening (CD)	
	C Nauticus Hull files (CD)	
	D Rekenmodellen modellen (CD)	



# 1 Inleiding

Het Joint Support Ship is een ontwerp dat verschillende aspecten van maritieme operaties in zich verenigt. Bevoorrading op zee, transport van materieel en ondersteuning voor leningsoperaties behoren tot de taken van dit schip. In constructief oogpunt is dit dan ook een bijzonder schip. De bevoorradingstaak maakt het tot een tanker waarbij de scheepswen dubbel moet worden uitgevoerd om te voldoen aan internationale regelgeving. De transportfunctie vraagt om een zo groot mogelijke RoRo-ruimte waardoor het bovenliggende helidek voor globale sterkte minder effectief is. Voor helicopteroperaties is voorzien in een groot vliegdek waarin een tweetal grote gaten zijn aangebracht voor liften voor vertikaal transport in het schip van goederen, voertuigen en helicopters. Deze gaten zijn om logistieke redenen aangebracht in dat deel van het schip dat zwaar belast wordt als gevolg van buiging van het schip in zeevang. Het doel van de sterkteberekening is de invloed van deze gaten op de sterkte en levensduur van het schip te bepalen en noodzakelijke modificaties van het ontwerp te identificeren.

Naast sterkte is stijfheid van het schip een belangrijke factor. Zowel globale als lokale trillingen dienen vermeden te worden daar deze een onaanvaardbare belasting kunnen vormen voor het personeel. Hiertoe zijn in het bestek een aantal eisen gesteld ten aanzien van de eigenfrequenties van de romp en die van de dekken ten opzichte van de romp trilvormen. In dit rapport zijn de resultaten van een globale trillingsberekening gepresenteerd.

Naast de intacte sterkte zijn voor dit schip ook eisen gesteld aan de reststerkte. Hoewel dit onderwerp niet in deze studie zal worden belicht is deze eis een belangrijke drijfveer in een vroeg stadium van het project een eindig elementen model te maken waarmee verschillende schadegevallen geanalyseerd kunnen worden.

In samenwerking met DMO is een FE-model gemaakt van het Joint Support Ship. Omdat het gewicht van het schip in het ontwerp als een risico is aangemerkt is het FE-model gebruikt om na te gaan of de gewichtsberekening in grote lijnen klopt.





## 2 Beschrijving van het FE-model

Het FE-model is in eerste instantie gebaseerd op de doorsneden die door KSG zijn gemaakt in het DNV programma voor dimensionering van scheepsconstructies "Nauticus Hull". Voor een aantal doorsneden, spant 24, 40,56, 72, 136, 176, 220 en spant 240, zijn de afmetingen van de constructie bepaald zodanig dat voldaan wordt aan de regels volgens DNV-naval support. De Nauticus hull berekeningen zijn gegeven in bijlage 2 (CD). Deze doorsneden zijn geëxtrudeerd naar een 3-D module waarbij de doorsnede over de lengte constant is. De lengte van de 3-D module is gelijk gekozen aan de lengte van het compartiment in het schip. Voor elk compartiment is zo een module gemaakt waarvan de beschrijving overeenkomt met de bij dit compartiment behoorde 2-D doorsnede. Deze modules zijn wat betreft vorm aangepast aan de vorm zoals beschreven in het lijnenplan van DMO (concept 6 revisie 12).

Op basis van de constructie tekeningen, zie tabel 1, zijn vervolgens in alle modules de verbindelen aangepast. Daar waar de tekeningen geen afmetingen weergeven zijn de afmetingen uit de Nauticus Hull dimensionering gehanteerd. Daar waar geen enkele informatie beschikbaar is, is de constructie uit aangrenzende compartimenten gebruikt. Dit betreft met name de voorpiek en het achterschip. Doordat uit verschillende bronnen is geput ontstaan inconsistenties in het model. De invulling van de ontbrekende informatie en inconsistenties zullen weinig invloed hebben op spanningsverdeling in het schip daar deze zich aan de uiteinden van het schip bevinden. Echter voor het staalgewicht geeft dit enige onzekerheid.

In de indelingstekeningen is aangegeven dat voor en achter de munitieruim een kofferdam is geplaatst. Dit houdt in dat hier ter plaatste niet een enkel schot wordt geplaatst maar een dubbel schot. Deze kofferdammen zijn niet in het model opgenomen wegens gebrek aan informatie. Hierdoor zal het staalgewicht van het model worden onderschat.

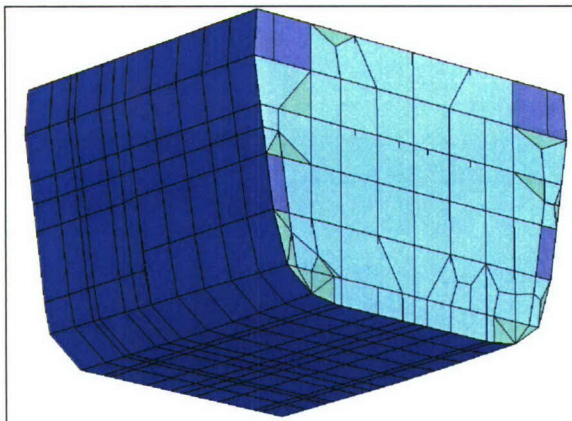
In de bovenste laag van de bovenbouw, op het A-dek, zijn een aantal langs- en dwarschotten niet in het model opgenomen wegens ontbrekende constructiegegevens. Ook hierdoor zal het gewicht van het model lager uitkomen. Bij vergelijking van het gewicht van het model met de gewichtsberekening zal zo mogelijk een schatting gemaakt worden voor de ontbrekende massa in het model.

Deze modules zijn vervolgens in het programma ShipMesh samengesteld tot een geheel schip. Bijlage 1 geeft een zo volledig mogelijk overzicht van de afmetingen van de verbindelen gebruikt in dit model. Het ShipMesh model is vervolgens ge-"meshed". De nieuw gegenereerde knopen zijn in een smoothing routine op de natte huid gelegd zodat een redelijk nauwkeurige representatie van de scheepsvorm wordt verkregen. Figuur 1 geeft een grafische representatie van de procedure.

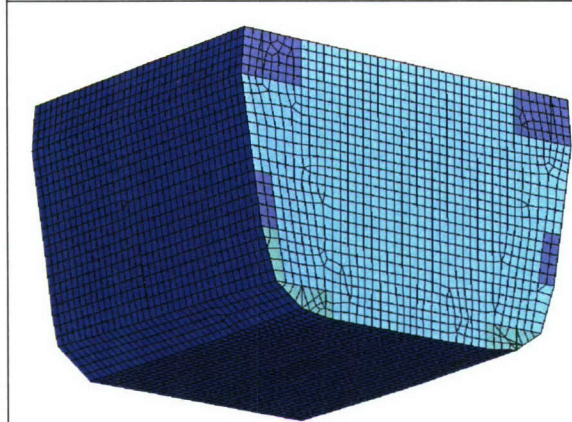
Figuur 2 geeft een overzicht van het gehele model. De analyse is uitgevoerd met het pakket Trident. In dit pakket is een element opgenomen die de eigenschappen van een verstijfd plaatveld beschrijft op basis van plaatdikte, verstijverafmetingen en verstijverafstanden. De eigenschappen in het vlak van het element, de buig eigenschappen en de koppeling tussen beiden wordt door dit element correct beschreven. Dit houdt ondermeer in dat de buigstijfheid loodrecht op de richting van de verstijvers gelijk is aan dat van de plaat en alleen maar in de richting van de verstijvers gelijk is aan die van de verstijver met plaatveld. (Dit in tegenstelling tot een meer bekend pakket als ANSYS waarbij de bijdrage in het vlak van de verstijvers met orthotrope materiaal eigenschappen correct wordt weergegeven maar de buigstijfheid van de verstijvers in



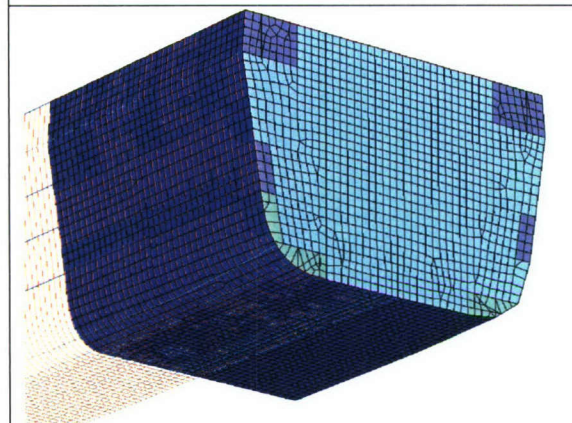
een plaalement alleen gerepresenteerd kunnen worden door de buigstijfheid in alle



Initial model



Remeshed



Smoothed

Figuur 2-1 Genereren FE model

over de grens van een module doorlopen. In Trident wordt de mesh aansluitend gemaakt waarbij het verloop van de constructiedelen niet wordt verenerd.

Het rekenmodel bestaat uit 128697 knopen en 172504 elementen waarvan 23091 balkelementen, 13663 plaalementen en 135750 plaalementen met verstijvers.

richtingen te verhogen in plaats van alleen in de richting van de verstijvers.) Doordat de verstijvers opgenomen zijn in de beschrijving van het plaalement hoeven deze niet als aparte elementen te worden opgenomen in het model. Hierdoor is de keuze van de grootte van de elementen in principe vrij. De element afmeting is gekozen gelijk aan de kleinste webframe afsten die gelijk is aan 700 mm.

Het verfijnen van het model ter plaatse van de tankschotten bleek aanleiding te geven tot een groot aantal zeer slecht gevormde elementen. De oorzaak hier is de vorm van de vouwschotten ten opzichte van de steekmaat van 0.7 m in de rest van het model. Het vouwpatroon 320/610/320/850 is in de meeste gevallen gewijzigd in 350/700/350/700. Hierdoor neemt het gewicht van deze vouwschotten echter wel af met 1.1%.

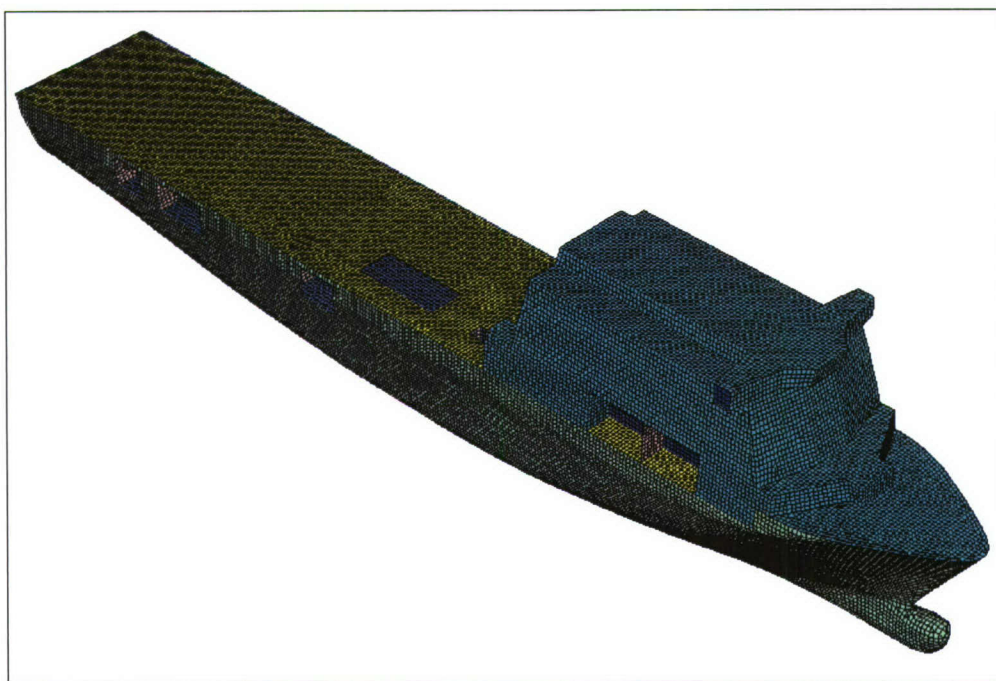
Het FE model met de belasting wordt uit ShipMesh geëxporteerd naar Trident.

In dit general purpose pakket wordt het FE model gecontroleerd en onjuistheden in de mesh gecorrigeerd. Met name bij de overgangen tussen twee modules bestaat de kans dat de mesh van de ene module niet aansluit op die van de enere. Figuur 1 laat dit zien in het midden van de moot van het JSS waar de huid van de achterste module niet aansluit op de huid in de voorste module. Deze onderbrekingen in de mesh ontstaan doordat constructiedelen op de overgang van modules niet



Tabel 1 Gebuikte tekeningen UTP 1.1

Datum	Naam PDF-file en omschrijving
13/06/2007	FP1027 Concept 06 rev 12 sheet 1 (AA, antenna, bridge).pdf
13/06/2007	FP1027 Concept 06 rev 12 sheet 2 (A, B, C, D-dek).pdf
13/06/2007	FP1027 Concept 06 rev 12 sheet 3 (E, F, G, H-dek).pdf
13/06/2007	FP1027 Concept 06 rev 12 sheet 4 (J, K-dek, Tanks).pdf
20/04/2007	T111001001.pdf "Midship Section"
25/04/2007	T111201001.pdf "Top, Bridge, A, B, C & D-Dek"
25/04/2007	T111201002.pdf "E & F-dek"
25/04/2007	T111201003.pdf "G & H-Dek"
25/04/2007	T111201004.pdf "J & K Dek"
25/04/2007	T111201005.pdf "TT & Bottom"
25/04/2007	T111301001.pdf "Longitudinal Bulkheads construction plan"
25/04/2007	T111302002.pdf "Transverse BHDS En typ. Sections"
25/04/2007	T111302003.pdf "Transverse BHDS. En typ. Sections"
25/04/2007	T111302005.pdf "Transverse BHDS. En typ. Sections Fr. 56-72 Propulsion room"
25/04/2007	T111302006.pdf "Transverse BHDS. En typ. Sections BHD 56, 88 (88 drawn)"
25/04/2007	T111302007.pdf "Transverse BHFD. En typ. Sections Fr. 104, 132 cargo tanks"
25/04/2007	T111302008.pdf "Transverse BHFD. En typ. Sections Fr. 140-160 Ammunition store"
25/04/2007	T111302009.pdf "Transverse BHFD. En typ. Sections Fr. 160-200 DG Room"
25/04/2007	T111302010.pdf "Transverse BHFD. En typ. Sections Fr. 140-232 (BHD 180 Drawn)"
25/04/2007	T111601001.pdf "Superstr. En. Funnel constr. Plan, Typical section"
25/04/2007	T111601002.pdf "Superstr. En. Funnel constr. Plan, Supporting Bulkheads"



Figuur 2-2 Overzicht FE model JSS

### 3 Staalgewicht

Het staalgewicht van schepen in het voorontwerpstadium is een grootte die alleen geschat kan worden op basis van scheepstype en afmetingen. Voor een nauwkeurige berekening van het staalgewicht is een uitwerking van de constructie noodzakelijk. Juist in het voorontwerp is er geen mogelijkheid voor alle concepten het staalgewicht te berekenen. Het JSS is een combinatie van verschillende scheepstypen waardoor gebruik van ervaringsgetallen een grote mate van onzekerheid geeft.

Om de onzekerheid van de grootte van het staalgewicht en de ligging van het zwaartepunt beter te kunnen inschatten is het gewicht bepaald van het FE model. Hierbij wordt opgemerkt dat het model alleen de globale constructie bevat zoals weergegeven op het staalplan. Het staalgewicht van het schip zal hierdoor zeker worden onderschat. Van de ene kant kan gesteld worden dat het staalplan ook in de engineeringfase uitgangspunt is voor berekening van het staalgewicht.

Het model is in een aantal delen onderverdeeld. Van elk onderdeel is gewicht, zwaartepunt en de massa per oppervlak van de plaat berekend. Dit laatste gegeven geeft enige mogelijkheid van afwijkende indelingen en afmetingen van het schip het gewicht en zwaartepunt te schatten. Opgemerkt wordt dat bij vergroting van de overspanning van een dek het gewicht per eenheid van oppervlak zal toenemen.

Bij opzetten van het model zijn zoveel mogelijk onderdelen opgenomen. Dit houdt in dat alle stijlen op vangen en schotten in het model zijn opgenomen. Tevens wordt opgemerkt dat het FEM model nergens spaargaten in de constructie verdisconteert. Dit houdt in dat het model zoals gegeven geen rekening houdt met de reductie van het gewicht door het weggenomen materiaal. Ook zijn vele openingen voor deuren en trappen niet in het model opgenomen waardoor het gewicht wordt overschat. Na overleg met KSG blijkt dat verondersteld kan worden dat het gewicht van klein ijzerwerk zoals trippingknieën, renen van openingen gecompenseerd wordt door de spaargaten in de constructie. Knieën in het dwarsverben worden wel apart meegenomen in de gewichtsberekening. In het model worden deze knieën, bijvoorbeeld in het voorschip tussen webframes onder het dek en de huid niet in het model opgenomen.

#### 3.1 Overzicht per casco onderdeel

Tabel 2 geeft een overzicht van de gewichtsverdeling. Het totale gemodelleerde gewicht van het schip is gelijk aan 7892 ton waarvan 6778 in de romp (F-dek en lager) en 1128 ton in de bovenbouw. KSG geeft voor deze twee delen van het schip 7590 ton voor de romp en 1360 ton voor de bovenbouw. Hierbij zijn de wals- en lastoeslagen en de toeslag voor kleine fundaties niet in beschouwing genomen daar deze ook niet in het globale model zijn opgenomen.

Dit houdt in dat in het model van de romp 812 ton staal ontbreekt. In het model van de bovenbouw is 232 ton niet in het model opgenomen. Dit is resp. 12% en 20% van het gemodelleerde gewicht. Hierbij is het goed mogelijk dat een klein deel van het staalgewicht in de verkeerde groep is opgenomen: gewicht behorend aan de bovenbouw aan de romp en vice versa, omdat de grenzen van romp en bovenbouw niet gegeven zijn.

Een aantal posten zoals gietstukken, kimkielen en kleinere delen van de bovenbouw komen wel voor in de gewichtsberekeningen maar zijn niet opgenomen in het model. Indien voor deze posten wordt gecorrigeerd zijn de verschillen tussen model en gewichtsberekening kleiner. In de volgende paragraaf zullen de verschillen nader worden toegelicht.



Tabel 2 is gegeven ten behoeve van gewichtsschattingen van schepen met gelijke indeling maar afwijkende hoofdafmetingen zover deze wijzigingen ten opzichte van het uitgangspunt de afmetingen van de verbendelen niet al te zeer beïnvloeden.

Voor LPD-2 is door DMO een vergelijking gemaakt tussen het gewicht van het model en de berekende gewichten uit NUPAS. Voor de romp bleek een factor 1.25 nodig te zijn om het model gewicht te laten kloppen met de NUPAS gegevens. Voor de bovenbouw bleek een factor 1.15 te volstaan. Met deze twee factoren toegepast op het JSS komt het totale gewicht gebaseerd op het model uit op 8473 ton voor de romp en 1297 ton voor de bovenbouw. Totaal is het gewicht van het casco dan 9770 ton. Onduidelijk is echter of in deze twee factoren ook alle toeslagen zijn verwerkt.

## 3.2 Overzicht per sectie

Om een beter inzicht te krijgen in de locaties waar grote verschillen bestaan tussen het model en de gewichtsberekening is in tabel 3 per sectie, conform de beschrijving gegeven in de gewichtsberekening, het gewicht gegeven. Uit de gegevens is niet duidelijk waar de grenzen van de secties worden gekozen. Aangenomen is dat de romp ter hoogte van het H-dek is gedeeld. Bij uitwerking blijkt dit tot spant 200 het geval te zijn, voor spant 200 wordt de sectie gekozen tot het F-dek onder de bovenbouw dan wel het E-dek voor de bovenbouw. Bij het opdelen van romp en bovenbouw is verondersteld dat het E-dek voor de bovenbouw behoort tot de romp en niet tot de bovenbouw. Bij berekenen van het gewicht uit het model is ook verondersteld dat het dwarsschot aan de voorzijde van een sectie geheel onderdeel uitmaakt van de sectie en niet wordt verdeeld over de twee aan dit schot grenzende secties. In vergelijking met tabel 2 zijn de totale gewichtspost romp en bovenbouw in het model nu iets anders.

In de eerste plaats laat tabel 3 zien dat een aantal onder de post casco vallende gewichtsposten niet in het model zijn opgenomen. Voor de romp zijn dit de gietstukken, (asuithouders, ankerkluisen etc.) en de kimkielen. Van de 751 ton verschil is dit echter slechts 85 ton. Voor de bovenbouw zijn een 3-tal onderdelen niet in het model opgenomen. Het totale gewicht hiervan is 80 ton. Hiermee is een aanzienlijk deel van het verschil (298 ton) tussen model en gewichtsberekening ingevuld.

### 3.2.1 Sectie 100 achterschip

Het achterschip tot spant 8 (100) is in de KSG berekening 115 ton zwaarder dan het model. Voor een deel is dit toe te schrijven aan het ontbreken van de fundaties voor de stuurmachines in het achterschip. Op basis van het gewicht van de vrangen en zaathouten op de huid in het model van het achterschip (24 ton) wordt geschat dat de fundaties voor de stuurmachines samen niet zwaarder zullen zijn dan 20 ton.

Daarnaast zal de huid boven de roeren lokaal dikker moeten worden. De toename is 2.5 ton indien de huid lokaal over een oppervlak van 40 m<sup>2</sup> van 12 mm naar 20 mm dikker wordt gemaakt.

Een moeilijker te schatten post zijn de stroomlijnkappen tussen de roeren en huid. Als ze als gietstuk worden uitgevoerd behoren ze tot de aparte post voor gietstukken, als ze zijn opgebouwd uit platen behoren ze wel tot het gewicht van de sectie. Hier is verondersteld dat ze uit plaatwerk worden opgebouwd. Het gewicht is geschat aan de hand van het gewicht van de roeren. De roeren samen wegen 45 ton. Het gewicht van de stroomlijn kappen tussen roeren en huid is geschat op 20 ton.

In het model is ook geen constructie opgenomen voor de achterdeur (60 ton). Een schatting dat het gewicht van het extra ijzerwerk voor deze deur gelijk is aan 20% van het gewicht van de deur is, levert 12 ton.

De spiegel is mogelijk constructief te licht uitgevoerd in het model. Het gewicht van de spiegel in het model is 36 ton (tot aan F-dek). Voor de spiegel wordt een marge aangehouden van 9 ton. Opgemerkt wordt dat de gehele spiegel tot sectie 100 is gerekend.

Totaal is een gewichtstoename ten opzichte van het model gelijk aan  $20+2.5+20+12+9 = 63.5$  ton. Hiermee blijft 51 ton nog nader te verklaren vooropgesteld dat bovenstaene schattingen juist zijn. Het KSG gewicht is aangepast met -51 ton.

### 3.2.2 *Sectie 101, stores spant 8-24*

Als een van de weinige secties is het model zwaarder dan de gewichtsberekening aangeeft: 16 ton. Dit deel van de constructie is slechts deels in detail omschreven in de gebruikte tekeningen. In het model zijn de materiaalafmetingen van de huid overgenomen uit de doorsnede berekeningen. De dekken zijn gelijk gekozen aan delen meer naar het voorschip die wel gespecificeerd zijn. Bij controle van de verschillende aelen van webframe, platen en verstijvers zijn geen afwijkende waarden gevonden in het model. De enige mogelijkheid voor grote afwijkingen is de indeling van de dubbele bodem. In het model zijn zaathouten en vrangen gekozen tussen J-dek en huid. Dit deel weegt 72 ton in het model. Indien deze volplaat uitvoering wordt verenerd in een lichtere constructie van balken is een vermindering van 36 ton mogelijk. Wel wordt opgemerkt dat de fundaties voor de boegschroef niet in het model zijn opgenomen. Het KSG gewicht wordt aangepast met het verschil tussen berekening en model +16 ton.

### 3.2.3 *Sectie 102-103, lading tanks spant 24-56*

Het FE-model is 39 ton op 620 ton zwaarder dan de berekening aangeeft. De belangrijkste reden dat het model mogelijk aan de zware kant is zijn de vouwschotten en vlakke tankschotten. Hier is de constructie uit het middenschip gevolgd terwijl de tankhoogte ten opzichte van de positie van de overloop een lichtere constructie toelaat. Het gewicht in de tankschotten in totaal is 68 ton zonder de schotten op spant 24 en spant 56. Met het schot op spant 56 komt het gewicht op 106 ton. Met een reductie van de plaatdikte van 11 mm naar 8 mm voor de vouwschotten<sup>1</sup>, conform doorsnede spant 40, en 9 mm naar 7 mm voor de verstijfde schotten wordt een reductie van het gewicht gevonden van 27-32 ton. Het FE-model blijft hiermee 7 tot 12 ton zwaarder dan de berekening aangeeft. Dit verschil is zeer gering. Voor de eenduidigheid is het KSG gewicht aangepast met +10 ton

### 3.2.4 *Sectie 104-105, voorstuwing spant 56-88*

Deze twee secties zijn lichter dan berekend door KSG. Het verschil is echter relatief gering: 51 ton op 711 ton modelgewicht. In de dubbele bodem zijn de zaathouten onder de fundaties voor tenwielkast en E-motoren aangepast ten opzichte van de stenaard dikte. Echter de fundaties op de tanktop zijn niet in het model opgenomen. Het gewicht van deze fundaties is gelijk gekozen aan het gewicht van de fundaties onder de DG-sets: 30 ton. Hiermee komt het model nog 21 ton tekort ten opzichte van de KSG berekening. De KSG berekening wordt aangepast met -21 ton

### 3.2.5 *Sectie 106, lading tanks spant 88-140*

Het gewicht van het model is 132 ton kleiner dan berekend door KSG. Voor een deel wordt dit gevonden in het ontbreken van een 2-tal vouwschotten in het model in de sectie voor de pompkamer. Hiermee is 13 ton gewicht niet in het model opgenomen.

<sup>1</sup> In het ShipMesh model is de dikte van de vouwschotten aangepast zodat bij een volgende berekening deze onjuistheid is gecorrigeerd.



Voor 99 ton is geen verklaring te geven. Het gewicht van in de KSG berekening wordt aangepast met -99 ton.

3.2.6 *Sectie 107, ammunitieruim spant 140-160*

Het gewicht in het model is 4% kleiner dan berekend door KSG. Op zich is dit een zeer klein verschil. In deze module ontbreken echter de twee schotten die de kofferdam vormen aan voor en achterzijde van het ammunitieruim. In goede Zeeuwse traditie wordt dit verschil echter wel in rekening gebracht. Het KSG gewicht wordt aangepast met -18 ton omdat onduidelijk is of deze kofferdammen in de gewichtsberekening opgenomen zijn.

3.2.7 *Sectie 108-109, machinekamers*

Het model is 99 ton lichter dan de berekening van de KSG aangeeft. In deze twee secties zijn de fundaties boven op de tanktop in het model opgenomen. Desalniettemin is het model 15% lichter dan de KSG berekening aangeeft. Wellicht dat meer geïntegreerde fundaties zijn meegenomen in de gewichtsberekening dan opgenomen in de tekeningen en model.

Deels kan dat in klein ijzerwerk gevonden worden waarvoor juist in de machine kamer een hogere toeslag van toepassing zou kunnen zijn gezien de grote hoeveelheid werktuigen. Hiervoor is 10 ton per machinekamer gerekend. Opgemerkt wordt dat voor kleine fundaties wel een aparte gewichtspost is opgenomen.

Vooralsnog is het KSG gewicht aangepast met twee maal -45 ton.

3.2.8 *Sectie 110-111, accommodatie 160-200*

Het blok tussen H- en G-dek is in het model aanzienlijk lichter dan het blok tussen G- en F-dek. Samen zijn de twee blokken 15 ton lichter dan de berekening van de KSG aangeeft. Een aannemelijke verklaring is zonder meer gedetailleerde gewichtsgegevens niet te geven. Het KSG gewicht is aangepast met -7.5 ton voor elke sectie.

3.2.9 *Sectie 112, stores frame 232-fore*

Er is verondersteld dat onder deze post de romp boven F-dek wordt bedoeld gelet op de ligging van het zwaartepunt. Het model is aanzienlijk lichter dan de KSG berekening aangeeft. Het verschil tussen model en berekening is 76 ton op 105 ton model gewicht.

De verschansing is niet in het model opgenomen. Het gewicht van de huid tussen F- en E-dek weegt 30 ton. Gezien het verloop van de hoogte van de verschansing is het gewicht geschat op 75% van dat van de huid in deze sectie. Hiermee komt het gewicht van de verschansing op 22 ton.

Bij gebrek aan informatie is de dikte van het E-dek gelijk gekozen aan 8 mm. Dit is mogelijk te dun. De vervormingen onder de aangebrachte belasting geeft aan dat het E-dek betrekkelijk slap is. Een dikte gelijk aan 12 mm geeft een toename van het gewicht gelijk aan 27 ton. Hiermee zijn ook alle verstijvers en dragers een factor 1.5 in gewicht toegenomen. Voor de dekwerktuigen zijn een aantal verzwaringen nodig in de constructie afgezien van fundaties op het dek die voorzien zijn in de aparte post voor fundaties. Aangenomen wordt dat deze in de gewichtstoename van 27 ton zijn verdisconteerd.

In totaal neemt het gewicht van het model door deze wijzigingen toe met 49 ton waarvan 22 ton duidelijk aan te wijzen is. Het KSG gewicht is aangepast met -27 ton.

3.2.10 *Sectie 113-114, hulpmachinekamers spant 200-216.*

Er is verondersteld dat deze secties van de kiel tot en met het F-dek lopen. Wederom is het model aanzienlijk lichter dan de berekening van KSG aangeeft. Het model is 72 ton

op 595 ton lichter dan de KSG berekening aangeeft. Ook opmerkelijk is dat het zwaartepunt van deze secties aanzienlijk hoger ligt dan de KSG berekening aangeeft. Op de indelingstekeningen wordt aangegeven dat de ruimte tussen tanktop en K-dek als tank gebruikt gaat worden. Het gewicht van het K-dek is 44 ton waarbij de dikte van de plaat gelijk is aan 8 mm. Als tanktop zal dit dek aanzienlijk dikker moeten worden. Aangenomen is dat 12 mm zal volstaan. Hiermee zal het modelgewicht toenemen met 22 ton.

Tevens blijkt het dwarsschot tussen tanktop en K-dek op spant 208 niet in het model te zijn opgenomen. Dit schot is een van de wenen van de tank tussen spant 208 en 216. Dit schot weegt (12 mm met verstijvers) ongeveer 15 ton<sup>2</sup>. Met deze twee posten zou het verschil teruggebracht zijn tot 35 ton. Het gewicht van de KSG is voor beide secties aangepast met -17.5 ton

### 3.2.11 *Sectie 115 Boegschroefruimte*

Het model is aanzienlijk lichter dan de KSG berekening aangeeft. Het verschil is 37 ton op 205 ton waarbij het zwaartepunt in het model te hoog ligt.

Op de indelingstekeningen is aangegeven dat de ruimte waarin de boegschroef straalbuizen zijn geplaatst, een tank is. Hiermee zal het K-dek een tanktop worden. Het dek is nu 8 mm en weegt 8 ton. Bij dikte van 12 mm zal het gewicht met 4 ton toenemen.

In de constructie is geen rekening gehouden met ondersteuning van de boegschroeven. De twee installaties wegen samen 60 ton. Het constructiegewicht voor ondersteuning van de boegschroeftunnels wordt geschat op 10 ton.

Hiermee is 14 ton van het verschil ingevuld en resteert -23 ton. De gewichtsberekening is hiervoor aangepast.

### 3.2.12 *Sectie 116 voorpiek spant 248-voorschip*

Het model is aanzienlijk lichter dan de KSG berekening aangeeft. Ook opmerkelijk is dat het zwaartepunt in het model aanmerkelijk lager ligt dan in de berekening van KSG wordt aangegeven. Deze sectie is in het model 48 ton lichter dan is aangegeven in de berekening.

Een zwaar onderdeel dat in het model ontbreekt is de kettingbak<sup>3</sup>. Het gewicht van de kettingbak is geschat onder de veronderstelling dat de wenen van de bak 20mm dik zijn. Een kettingbak met deze dikte weegt 40 ton.

In deze sectie vormt het J-dek de tanktop van de ruimte. In het model is de plaatdikte 7 mm. Het is de verwachting dat de plaatdikte 10-12 mm moet worden indien deze ruimte als tank gebruikt zal worden. Veel gewichtstoename levert dit niet op: verwacht wordt dat gewicht van het dek zal toenemen van 2.1 ton naar maximaal 3.6 ton.

Gezien het grote verschil in ligging van het zwaartepunt lijkt het dat het G-dek aanzienlijk zwaarder is in het model opgenomen. De ruimte boven het G-dek wordt gebruikt voor voorraden en opslag en kent een ontwerpbelasting van 1.5 ton/m<sup>2</sup>. Dit dek weegt 12 ton bij een plaatdikte van 7 mm. Ook de ruimte op het F-dek wordt gebruikt als "store" hoewel niet wordt aangegeven dat deze ruimte even zwaar belast zal worden als het G-dek. Het F-dek weegt 19 ton bij 7 mm. De staalplannen laten geen duidelijk verband zien tussen dekbelasting en plaatdikte. Indien niet met palletlorries gereden wordt zal 7 mm wel volstaan gezien de plannen. Indien wel met palletlorries wordt gereden zal een dekdikte van 10 mm wellicht nodig zijn. Al met al is de conclusie dat

<sup>2</sup> Het schot op spant 208 is toegevoegd aan het ShipMesh model en de plaatdikte van het K-dek is vergroot van 8-12 mm.

<sup>3</sup> Een kettingbak met t=20 mm is in het ShipMesh model toegevoegd.



gewichtsverschil van 48 ton maar voor een klein deel, maximaal 13 ton, het gevolg is van verschillen in dikte van de dekken.

Een enere mogelijke oorzaak voor het verschil zijn de afmetingen van de webframes in het voorschip en de huiddikte op de boeg. Nu is de huiddikte 14 mm. Daarom wordt een grote toename van het gewicht door toename van de plaatdikte niet verwacht. Het totale gewicht van alle webframes op de huid in het voorschip in het model is gelijk aan 3 ton. Ten opzichte van het gewicht van de huid die aan deze webframes is verbonden, 70 ton, lijkt de genoemde 3 ton wel wat weinig. Uit de sterkteberekening volgt ook dat de webframes in het voorschip zwaarbelast zijn. Verdubbelen van de hoogte en flensbreedte zodat de webframe ~900 mm hoog worden geeft een gewichtstoename van 3 ton.

Samenvattend: In ieder geval ontbreekt de kettingbak geschat op 40 ton, voor de tanktop van de WB-tank wordt 1.5 ton in rekening gebracht en voor de stores beplating 0-13 ton. Totaal zal de module 44-57 ton zwaarder worden. Door het grote gewicht van de kettingbak en de hoge positie in de sectie zal het zwaartepunt ook omhoog schuiven. Al met al wordt het KSG gewicht aangehouden voor de voorpiek.

### 3.2.13 *Sectie 118, Scheg*

De scheg in het model is aanmerkelijk zwaarder dan door KSG berekend: 29 ton op 84 ton gewicht in het model. In het model is de scheg voorzien van bordjes op elk spant zonder spaargaten. Bovendien is de huidbeplating verstijfd. Dit is wellicht te veel van het goede en kunnen de verstijvers weggelaten worden. Hierdoor neemt het gewicht van het model af met 12 ton. Ook is het op HS een zaathout (10 ton) geplaatst. Dit maakt de scheg niet eenvoudig te maken gezien de kleine ruimte tussen de bordjes. Indien deze twee onderdelen, verstijvers en MZH, uit het model worden gehaald is het gewicht van het model nagenoeg in overeenstemming met de berekening.

Een tweede factor is dat de scheg in het model begint op spant 12 terwijl op GAP de scheg begint op spant 8. Dit houdt in dat het gewicht in het model hierdoor te laag is.

Vooralsnog is verondersteld dat de scheg 14 ton lichter is dan in het model is opgenomen. Dit geeft een aanpassing van het KSG gewicht met +14 ton.

### 3.2.14 *Sectie 120, RoRo ruimte spant -15-160*

Het model is 115 ton lichter dan de berekening van de KSG aangeeft. Voor een deel is dit verschil te verklaren uit het ontbreken van een aantal langswenen tussen spant -15 en spant 24. Ook is een dwarswen onder het F-dek op spant -8 is niet in het model opgenomen. Ook ontbreekt een stukje G-dek tussen spant -12 en spant -8. Op basis van "gemiste" oppervlakken en de gemiddelde massa per m<sup>2</sup> uit tabel 2 is het gewicht geschat op 25 ton.

Voor ondersteuning van verhaal en meergerei kan worden gesteld dat deze constructies onderdeel vormen van de 5% toeslag voor kleine fundaties. De KSG berekening is aangepast met -90 ton, wat op het totaal gewicht van de sectie gering is.

### 3.2.15 *Sectie 127, Hangaar spant 160-232*

Er is een zeer groot verschil tussen het door KSG berekende gewicht en het gewicht in het model. Het model is met 213 ton 93 ton lichter dan de KSG berekening aangeeft. Hiervoor zijn geen goede aanwijzingen behalve de openingen in het dek en de wenen van het dekhuis. Indien KSG geen correctie heeft uitgevoerd voor deze openingen is een deel (44 ton) van het verschil verklaard. Waarschijnlijk is dit echter niet.

Ter plaatste van de openingen in de zij zijn de wenen van de nissen niet versterkt ten opzichte van de gegevens op tekening. Hier moet worden opgemerkt dat de binnenwen



die ter plaatse van de nis voor de reddingsboten net zo zwaar is als de buitenwanden van de bovenbouw.

Mogelijk dat de gebruikte doorsnede (T1116.01 "typical section") sterk afwijkt van de voor de gewichtsberekening gebruikte constructie.

Constructie voor de hangaardeuren zijn niet in model opgenomen. Ook is in het model de gehele achterzijde van de hangaar van F-dek tot D-dek open. Beide posten, de openingen zijn kleiner en er is constructie nodig ter ondersteuning van de deuren, zijn gesteld op 13 ton samen.

De KSG berekening is met -80 ton aangepast.

### 3.2.16 *Sectie 128, CIWS spant 232-248*

In de opdeling is verondersteld dat dit het deel van de constructie boven het E-dek en voor het frontschot van de bovenbouw is. Het gewichtsverschil is relatief groot maar in absolute zin slechts 10 ton. Verondersteld is dat het verschil voor het grootste deel veroorzaakt wordt door de fundatie van het CIWS hoewel ook verondersteld kan worden dat dit onder het budget fundaties valt die 5% van het totale berekende gewicht groot is. Het KSG gewicht is niet aangepast.

### 3.2.17 *Sectie 129, Shelter RAS spant 148-160*

In het model is alleen dat deel opgenomen voor spant 152 daar dit constructief een bijdrage levert. Hierdoor is het verschil tussen model en berekening, 10 ton op 42 ton in model, plausibel. Het KSG gewicht is niet aangepast.

### 3.2.18 *Sectie 130-132, C-, B- en A-dek spant 162-233*

Deze drie secties laten slechts een gering verschil zien tussen berekening en model. De berekening geeft een iets groter gewicht dan het model aan. Daar deze secties volledig beschreven zijn in de tekeningen en er geen bijzondere constructies aanwezig zijn, geeft deze vergelijking wellicht een redelijk beeld van de onderschatting van het model ten opzichte van de berekening voor de bovenbouw: 6% van het staalgewicht wordt gemist. De KSG gewichten zijn niet aangepast.

### 3.2.19 *Sectie 133, AA-dek spant 163-233*

Het AA-dek, op tekening T1112.01 het bridge dek genoemd, blijkt in het model aanmerkelijk lichter te zijn dan berekend door KSG. Bij controle blijken op dit niveau een aantal langs- en dwarswanden niet in het model opgenomen te zijn. Een schatting van het gemiste gewicht geeft aan dat hiermee het grootste deel van het verschil is verklaard. Het KSG gewicht is daarom niet aangepast.

### 3.2.20 *Sectie 133-134, topdek en brug*

Ook op dit niveau ontbreken een aantal scheidingschotten in het model. Het relatief grote verschil, 51 ton op 94 ton, is voor slechts 5 ton toe te wijzen aan de ontbrekende schotten. De resterende 46 ton kunnen op basis van de beschikbare gegevens niet worden ingevuld te meer daar de "ballistic protection" als aparte post in de gewichtsberekening is opgevoerd. De KSG berekening is aangepast met -46 ton.

## 3.3 **Gewichtsschatting, risico**

Een aantal secties zijn niet in het model opgenomen. Het berekende gewicht is zonder correcties overgenomen in de berekening van het gewicht op basis van het model met correcties. In totaal is het KSG gewicht voor de romp aangepast met -436 ton. Dit

verschil is 5.6% van het berekende gewicht. Voor de bovenbouw wordt -126 ton aanpassing gegeven. Dit is 10.8% van het berekende gewicht.

Een aantal verschillen is niet eenvoudig te verklaren uit verschillen tussen model en tekeningen en berekeningen. Dit betekent niet dat de gewichtsberekening onjuist zou zijn, maar dat voor een risico inschatting van gewicht en zwaartepunt meer gedetailleerde informatie nodig is. Wellicht dat op basis van het gegeven overzicht KSG kan aangeven welke posten nog ontbreken in het model.

Tabel 4 geeft op basis van de argumenten uit 3.2 een schatting van het gewicht van het casco inclusief de toeslagen voor walsen en lassen en kleine fundaties, het totaal van groep 100 uit de gewichtsberekening. Uitgangspunt is de berekening van de KSG. De correcties zijn in twee stappen aangebracht. In de eerste berekening is alleen het gewicht aangepast en is het zwaartepunt van de sectie niet verenerd. In de tweede berekening zijn zowel de gewichten aangepast als de zwaartepunten uit het FE-model gebruikt. De resultaten van de berekening zijn:

	Gewicht Ton	VCG m	LCG M
KSG berekening	9868.3	12.89	92.19
KSG berekening met correctie -609 ton, zwaartepunten uit de KSG berekening	9248.7	12.62	90.99
KSG berekening met correctie -609 ton, zwaartepunten uit FE-model.	9248.7	12.76	91.32

De invloed van de afname van het gewicht laat zich zowel merken in de ligging van het zwaartepunt in hoogte als in lengte. In beide gevallen zakt het zwaartepunt als gevolg van de correcties, grotendeels door de relatief grote afname van het gewicht van de bovenbouw. Gebruik van de zwaartepunten uit het model in plaats van die uit de KSG berekening geeft een kleine toename van VCG.

Het zwaartepunt in lengte schuift naar achter door de afname van het gewicht alleen. Ook in dit geval schuift het zwaartepunt terug naar voren indien de zwaartepunten uit het model worden gebruikt.

Gezien de grote invloed van op de ligging van het zwaartepunt wordt aangeraden de gewichtsberekeningen in meer detail te bekijken. Daarnaast is het zinvol grote ontbrekende massa's, zoals de kettingbak, in het model op te nemen en het zwaartepunt van de aanpassingen in de berekening op te nemen.

De conclusie van deze vergelijking is dat de gewichtsberekening van KSG misschien het gewicht overschat, maar dat deze overschatting gering is. De verwachting is dan ook dat het resterende verschil in het berekend gewicht en model gewicht grotendeels zal verdwijnen indien de vergelijking meer in detail zal treden.



Tabel 2 Overzicht gewichtsverdeling FE model JSS

Item	Balk- elementen ton	Plaat- elemente n ton	Verstijvers ton	Totaal ton	COGx m	COGy m	COGz m	Opper- vlak m <sup>2</sup>	Eenheids- gewicht Ton/m <sup>2</sup>
Huid+transom	77.9	1038.0	265.3	1381.2	92.440	7.118	-0.054	10924.0	0.1264
Skeg	0.0	72.4	11.6	84.0	21.688	1.420	0.000	706.1	0.1190
Dubbele huid	0.0	192.0	45.1	237.1	71.218	6.646	-0.039	2338.4	0.1014
Dubbele bodem	0.0	652.4	95.2	747.6	79.155	2.348	-0.016	6773.3	0.1104
Tanktop	0.0	293.6	83.0	376.5	80.182	2.555	-0.015	3182.0	0.1183
K-dek	50.6	88.1	25.1	163.7	125.330	5.365	-0.155	1408.4	0.1163
J-dek	78.3	186.1	47.0	311.4	93.342	8.943	-0.112	3015.8	0.1032
H-dek	109.9	454.7	124.0	688.5	70.962	12.150	-0.065	5106.5	0.1348
G-dek	46.0	158.3	33.5	237.8	116.430	15.402	-0.139	2899.4	0.0820
F-dek	284.3	625.2	195.4	1105.0	74.246	18.599	-0.165	5525.8	0.1999
Kofferdam tanks	6.8	244.2	59.2	310.2	59.646	11.061	-0.068	3471.0	0.0894
Trans. blkhs hull	24.3	348.8	141.8	514.9	87.607	8.688	0.099	5368.1	0.0959
Long. Blkhds hull	50.0	260.4	41.8	352.2	76.961	14.826	0.224	3398.8	0.1036
Struts	7.3	0.0	0.0	7.3	114.400	24.616	0.604	0.0	0.0000
Tanks	0.0	214.4	5.3	219.7	62.417	6.499	0.008	2539.9	0.0865
Found. DG-sets	0.0	30.7	0.0	30.7	126.000	2.256	0.000	142.1	0.2163
<b>Total Hull</b>	<b>735.3</b>	<b>4859.3</b>	<b>1173.2</b>	<b>6767.8</b>	<b>81.718</b>	<b>9.647</b>	<b>-0.045</b>	<b>56799.5</b>	<b>0.1192</b>
Huid	24.0	65.5	19.1	108.6	139.330	25.100	0.000	1400.0	0.0776
Front blkhd	15.8	58.4	11.3	85.5	162.180	21.900	0.000	963.5	0.0888
E-dek	8.4	93.4	17.2	119.0	140.100	26.208	0.011	1800.4	0.0661
D-dek	0.6	76.9	18.6	96.1	144.240	29.726	-0.026	1400.6	0.0686
C-dek	0.0	31.8	8.2	40.1	163.840	30.297	0.000	580.2	0.0690
B-dek	14.5	131.6	27.5	173.6	129.760	29.142	0.000	2488.5	0.0698
A-dek	26.5	66.3	19.3	112.1	137.790	28.100	0.000	1415.9	0.0792
Bridge dek	24.0	57.9	16.9	98.8	138.210	37.100	0.000	1237.1	0.0798
Top dek	12.2	34.8	10.2	57.1	141.010	40.100	0.000	743.1	0.0769
Long. blkhds	26.4	62.9	18.4	107.6	137.700	31.100	0.000	1343.3	0.0801
Trans. blkhds	25.6	59.5	17.4	102.5	137.580	34.100	0.000	1271.8	0.0806
Struts	6.0	0.0	0.0	6.0	134.500	30.663	0.000	0.0	0.0000
Casings	0.0	17.1	4.2	21.3	124.600	27.253	0.000	313.7	0.0679
<b>Total superstructure</b>	<b>183.9</b>	<b>756.1</b>	<b>188.3</b>	<b>1128.3</b>	<b>140.175</b>	<b>29.743</b>	<b>-0.001</b>	<b>14958.2</b>	<b>0.0754</b>
<b>Total ship</b>	<b>919.2</b>	<b>5615.4</b>	<b>1361.5</b>	<b>7896.1</b>	<b>90.071</b>	<b>12.518</b>	<b>-0.039</b>	<b>71757.7</b>	<b>0.1100</b>



Tabel 3 Gewichten sectie volgens indeling KSG

id	Sectie	Spant	KSG			FEModel			Verschil ton	% rel. tov. FEM
			Gewicht	Vcg	Lcg	Gewicht	Vcg	Lcg		
100	Steering gear	aft-8	329.4	9.10	0.33	214.8	10.26	-0.51	114.6	53
101	Stores	8-24	200.7	8.30	11.05	238.8	8.61	11.92	-38.1	-16
102	Fuel oil	24-40	268.1	7.40	22.30	309.3	7.84	23.16	-41.3	-13
103	Fuel oil	40-56	321.3	6.60	33.40	319.2	7.04	34.30	2.1	1
104	Propulsion	56-72	374.0	6.20	44.60	352.6	5.57	45.35	21.4	6
105	Propulsion	72-88	388.3	6.00	55.80	358.9	5.39	56.73	29.4	8
106	Cargo	88-140	1290.9	6.05	80.84	1159.2	6.09	80.76	131.7	11
107	Ammo	140-160	446.3	5.85	105.81	428.4	6.07	105.45	17.9	4
108	Engine room	160-180	389.2	5.44	119.26	346.8	4.67	119.43	42.5	12
109	Engine room	180-200	366.5	5.86	133.57	309.7	5.20	133.35	56.8	18
110	Accommodation a	160-200	160.1	14.80	126.00	128.9	14.72	126.72	31.2	24
111	Accommodation b	160-200	175.3	18.00	126.00	190.5	18.18	126.29	-15.2	-8
112	Stores	232-fore	180.5	21.40	174.30	104.8	21.10	176.08	75.7	72
113	Aux engine room	200-216	367.7	8.72	145.40	316.2	10.35	146.05	51.5	16
114	Aux engine room	216-232	299.9	9.52	156.50	279.5	10.98	157.03	20.4	7
115	Thruster	232-248	241.4	10.69	167.50	204.9	11.35	168.03	36.5	18
116	Forepeak	248-fore	231.1	11.31	179.10	182.4	9.65	180.09	48.8	27
117	Castings		40.0	3.20	8.00				40.0	
118	Skeg	8-42	55.0	1.90	21.00	84.0	1.42	21.71	-29.0	-35
119	Bilge keel		45.0	1.20	89.80				45.0	
120	RoRo	aft-160	1419.7	17.11	50.14	1304.6	17.47	51.69	115.1	9
	<b>Totaal romp</b>		<b>7590.3</b>	<b>9.66</b>	<b>83.92</b>	<b>6833.3</b>	<b>9.75</b>	<b>82.56</b>	<b>757.0</b>	<b>11</b>
127	Hangar	160-232	306.2	22.98	138.59	213.0	23.26	132.59	93.2	44
128	CIWS	232-248	52.2	24.40	166.42	41.8	23.56	166.36	10.4	25
129	Shelter	148-160	37.9	22.07	106.46	28.1	22.47	109.37	9.8	35
130	C-dek	161-234	196.1	27.41	138.63	187.1	27.50	138.06	9.0	5
131	B-dek	162-232	183.7	30.45	137.52	169.4	30.55	137.47	14.3	8
132	A-dek	163-231	169.2	33.46	137.36	161.4	33.55	137.20	7.8	5
133	AA-dek	163-233	190.4	36.32	137.45	167.3	36.48	137.78	23.1	14
134	Topdek	164-233	99.3	39.22	134.09	94.2	39.51	141.34	50.8	54
135	Bridge	220-232	45.6	39.50	157.80					
136	Flyco	152-163	9.3	34.23	111.28				9.3	
137	RAS		38.5	20.57	82.00				38.5	
138	Cas/Ammo	Topdek	32.2	39.70	125.96				32.2	
	<b>Totaal bovenbouw</b>		<b>1360.6</b>	<b>29.69</b>	<b>136.61</b>	<b>1062.3</b>	<b>30.24</b>	<b>137.34</b>	<b>298.3</b>	<b>28</b>

Tabel 4 Nieuwe schatting staalgewicht JSS, correcties alleen op gewicht en niet op positie CG

id	Sectie	spant	KSG			Correction Gewicht	Nieuwe schatting		
			Gewicht	Vcg	Lcg		Gewicht	Vcg	Lcg
100	Steering geer	aft-8	329.4	9.10	0.33	-58.0	271.40	9.10	0.33
101	Stores	8-24	200.7	8.30	11.05	16.0	216.70	8.30	11.05
102	Fuel oil	24-40	268.1	7.40	22.30	5.0	273.07	7.40	22.30
103	Fuel oil	40-56	321.3	6.60	33.40	5.0	326.30	6.60	33.40
104	Propulsion	56-72	374.0	6.20	44.60	-6.0	368.00	6.20	44.60
105	Propulsion	72-88	388.3	6.00	55.80	-6.0	382.30	6.00	55.80
106	Cargo	88-140	1290.9	6.05	80.84	-99.0	1191.85	6.05	80.84
107	Ammo	140-160	446.3	5.85	105.81	-18.0	428.28	5.85	105.81
108	Engine room	160-180	389.2	5.44	119.26	-45.0	344.22	5.44	119.26
109	Engine room	180-200	366.5	5.86	133.57	-45.0	321.48	5.86	133.57
110	Accommodation a	160-200	160.1	14.80	126.00	-7.5	152.58	14.80	126.00
111	Accommodation b	160-200	175.3	18.00	126.00	-7.5	167.81	18.00	126.00
112	stores	232-fore	180.5	21.40	174.30	-27.0	153.50	21.40	174.30
113	Aux engine room	200-216	367.7	8.72	145.40	-17.5	350.20	8.72	145.40
114	Aux engine room	216-232	299.9	9.52	156.50	-17.5	282.38	9.52	156.50
115	Thruster	232-248	241.4	10.69	167.50	-23.0	218.36	10.69	167.50
116	Forepeak	248-fore	231.1	11.31	179.10	0.0	231.15	11.31	179.10
117	Castings		40.0	3.20	8.00		40.00	3.20	8.00
118	skeg	8-42	55.0	1.90	21.00	14.0	69.00	1.90	21.00
119	Bilge keel		45.0	1.20	89.80		45.00	1.20	89.80
120	RoRo	aft-160	1419.7	17.11	50.14	-90.0	1329.69	17.11	50.14
	<b>Totaal romp</b>		<b>7590.3</b>	<b>9.66</b>	<b>83.92</b>	<b>-436.0</b>	<b>7154.3</b>	<b>9.61</b>	<b>83.18</b>
127	Hangar	160-232	306.2	22.98	138.59	-80.0	226.23	22.98	138.59
128	CIWS	232-248	52.2	24.40	166.42	0.0	52.19	24.40	166.42
129	Shelter	148-160	37.9	22.07	106.46	0.0	37.89	22.07	106.46
130	C-dek	161-234	196.1	27.41	138.63	0.0	196.05	27.41	138.63
131	B-dek	162-232	183.7	30.45	137.52	0.0	183.69	30.45	137.52
132	A-dek	163-231	169.2	33.46	137.36	0.0	169.15	33.46	137.36
133	AA-dek	163-233	190.4	36.32	137.45	0.0	190.39	36.32	137.45
134	Topdek	164-233	99.3	39.22	134.09	-46.0	98.97	39.22	134.09
135	Bridge	220-232	45.6	39.50	157.80			39.50	157.80
136	Flyco	152-163	9.3	34.23	111.28		9.31	34.23	111.28
137	Ras		38.5	20.57	82.00		38.54	20.57	82.00
138	Cas/Ammo		32.2	39.70	125.96		32.19	39.70	125.96
	<b>Totaal bovenbouw</b>		<b>1320.6</b>	<b>29.69</b>	<b>136.61</b>	<b>-126.0</b>	<b>1234.60</b>	<b>30.07</b>	<b>136.3</b>
	<b>Totaal romp + bovenbouw</b>		<b>8910.9</b>	<b>12.63</b>	<b>91.73</b>	<b>-562.0</b>	<b>8388.9</b>	<b>12.62</b>	<b>90.99</b>
	Foundaties 5%		445.5				419.9		
	<b>Totaal inclusief fundaties</b>		<b>9356.4</b>				<b>8817.7</b>		
	Lassen en walstoelag 5%		467.8				440.9		
	<b>Totaal</b>		<b>9864.2</b>	<b>12.75</b>	<b>91.92</b>	<b>-619.6</b>	<b>9248.6</b>	<b>12.62</b>	<b>90.99</b>





## 4 Belastingen

De belasting op het model is aangebracht door voor twee beladingsgevallen de gewichtsverdeling in de romp van schip te modelleren. De twee gevallen die door DMO zijn aangeleverd geven aanleiding tot het grootste en kleinste vlak water buigend moment. Deze vlakwater belastingen worden berekend met het pakket PIAS dat op basis van de gewichtsverdeling en scheepsvorm ook de stabiliteit van het schip berekent. De door DMO aangeleverde beladingscondities zijn in bijlage 3 (CD) gegeven. De twee beladingscondities met bijbehorende vlakwater belastingen zijn:

Replenishment departure	$M_{\text{vlak water}} = 72591 \text{ tonm (hogging)}$
Strategic Seatransport departure	$M_{\text{vlak water}} = 106687 \text{ tonm (hogging)}$

De gewichtsverdeling is gegeven als een verdeelde belasting als functie van de lengtepositie. De verdeling wordt op regelmatige afstanden van 0.7m gegeven. In ShipMesh wordt een verdeelde belasting gevraagd per webframesectie. De lengte van deze secties is door het gehele model verschillend en varieert tussen 0.7m en 2.8m. Een conversie programma is geschreven die de verdeelde belasting uit de langsscheepse sterkteberekening omzet naar belastingen per sectie in ShipMesh.

De eerste stap is het berekenen van de gemiddelde waarde van de gewichtverdeling over de lengte van een sectie in ShipMesh. Hierbij gaat een deel van de variaties in de originele verdeling verloren omdat de secties gelijk of groter zijn dan de verdeling in de PIAS berekening. Op basis van de belasting per sectielengte wordt in ShipMesh het totale gewicht berekend over een deel van het model ter grootte van een halve sectielengte achter het spant tot een halve sectielengte voor het spant. Dit totale gewicht wordt verdeeld over alle knopen in dit segment van het model. De verdeling is gebaseerd op het eigengewicht van het model. Knopen waaraan naar verhouding veel elementmassa is verbonden zullen een groter deel van de gewichtsverdeling toegewezen krijgen. Indien binnen een segment een zwaar constructiedeel aanwezig is, zoals een schot, zal dit onderdeel een dus een groot deel van het totale gewicht toegewezen krijgen. Dit geeft aanleiding tot verschuivingen van het zwaartepunt binnen een segment ten opzichte van de originele verdeling zowel in lengte als in hoogte. De invloed op de verdeling van de schuifkracht en buigend moment blijken gering te zijn. Figuur 3 geeft een schematische voorstelling van de conversie van PIAS naar ShipMesh.

De hydrostatische belasting wordt aangebracht op de huid en is een functie van diepgang en trim. Diepgang en trim worden berekend in een statische balans berekening. Diepgang en trim worden iteratief zodanig berekend dat de resulterende verticale kracht en moment om de dwars-as nagenoeg gelijk is aan nul. De resterende verschillen tussen gewicht en waterverplaatsing worden gecompenseerd door het eigengewicht van het model te vermenigvuldigen met een versnellingsvector zodanig dat de totale uitwendige krachten en momenten gelijk zijn aan nul (inertia relief).

Figuur 4 en figuur 5 geven het verloop van de verticale schuifkracht en de buigende momenten. Uit de diagrammen voor de schuifkracht en buigend moment in vlakwater blijkt dat de resulterende verdeling zeer goed overeenkomt met die uit de langsscheepse sterkteberekening. Dit geeft aan dat de conversie van de gewichtsverdeling en de verdeling van de opwaartse kracht in het FE mode voldoende nauwkeurig is uitgevoerd voor beide beladingsgevallen.



Voor introductie van het golfbuigend moment in het model is gebruikt gemaakt van een voorgeschreven golf. De golflengte van de golf is gelijk aan  $\lambda=184\text{m}$ . De amplitude van de golf is gelijk aan  $0.3\sqrt{\lambda} = 4.07\text{m}$ . Het golfprofiel is een trochoïde. Het Smith-effect is niet opgenomen in de berekening van de drukverloop op de huid. Voor twee condities, golftop in het midden van het schip (hogging) en golfdal in het midden (sagging) is een statische balans berekend door diepgang en trim te variëren. De onbalans in het model na uitvoering van de statische balans routine wordt gecompenseerd middels versnelling van het FE model (inertia relief) zodat de totale uitwendige belasting gelijk is aan nul. De versnellingen gebruikt in de inertia relief zijn zeer klein.

Figuur 4 en figuur 5 geven het verloop van het golfbuigend moment berekend uit het verschil tussen sagging conditie en vlakwater en het verschil tussen hogging conditie en vlakwater. De resulterende sagging en hogging golfbuigend moment is vergeleken met die volgens de voorschriften van DNV<sup>4</sup>. Uit de diagrammen volgt dat de (al oude) statische balans methode de grootte van het moment volgens de DNV regels goed beschrijft, echter de door DNV gewenste verdeling over de lengte van het schip wordt niet goed beschreven. Naar het voorschip toe wordt het moment onderschat.

Mogelijk dat de verdeling over de lengte beter in overeenstemming te krijgen is door het model een pitch versnelling te geven waardoor in sagging conditie het voorschip dieper in de golf komt te liggen. In hogging conditie zal een pitch versnelling gegeven moeten worden waardoor het voorschip verder uit het water komt. Er is een iteratie uitgevoerd met aanbrengen van een pitch versnelling op het model. Het blijkt dat veranderen van pitch versnelling alleen invloed heeft op de amplitude van de golfbelasting en niet op het verloop over de lengte van het schip.

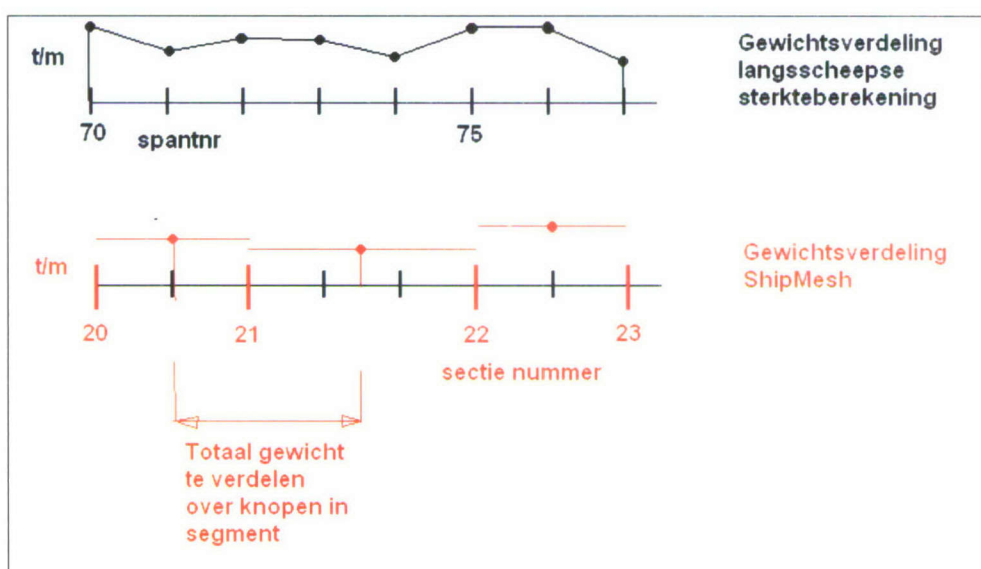
Om het DNV profiel beter te reproduceren dient het golfprofiel aangepast te worden of middels een directe koppeling met een hydro-code een geschikte ontwerpconditie te worden gegenereerd. Een alternatief is met de eigentrilvormen de gewenste moment verdeling aanbrengen. Nadeel van deze methode is wel dat de waterdruk op de huid ontbreekt. Indien de resultaten daarvoor aanleiding geven kan ook voor een gemengde oplossing worden gekozen waarbij de golfbelasting wordt gecorrigeerd met de inertia belasting als gevolg van een 3-knoops trilling.

Voor een juiste schatting van de fout in het buigend moment is niet alleen de golfbelasting van belang maar ook het moment als gevolg van het vlakwater moment. Hiertoe is het vlakwater buigend moment berekend met PIAS plus het door DNV voorgeschreven golfbuigend moment vergeleken met het verloop van het buigend moment in sagging en hogging conditie. Figuur 6 geeft de vergelijking voor de beladingstoesten “replenishment departure”. De figuur laat zien dat de verschillen in sagging conditie relatief het grootst zijn. Voor maximale belasting van de constructie is de hogging conditie echter maatgevend. Figuur 6 laat zien dat de maximale belasting uit de statische golf balans kleiner is dan de combinatie van PIAS vlakwater buigend moment en het voorgeschreven DNV golfbuigend moment zoals al eerder is opgemerkt. Het grote verschillen treden op voor spant 140 (~100m voor ALL). Op de positie 125m voor ALL is de aangebrachte belasting slechts 75% van het door DNV voorgeschreven moment belasting. Vergroten van de gehele FE belasting met de factor 1.33 zal leiden

<sup>4</sup> In de door DMO aangeleverde berekening van het “rule wave bending moment” worden andere hoofdafmetingen gekozen dan door de KSG. Het moment dat volgt uit de DMO gegevens komt in grote lijnen overeen met dat van de KSG. De indruk bestaat dat de KSG gegevens in overeenstemming zijn met de door klasse gewenste afmetingen.

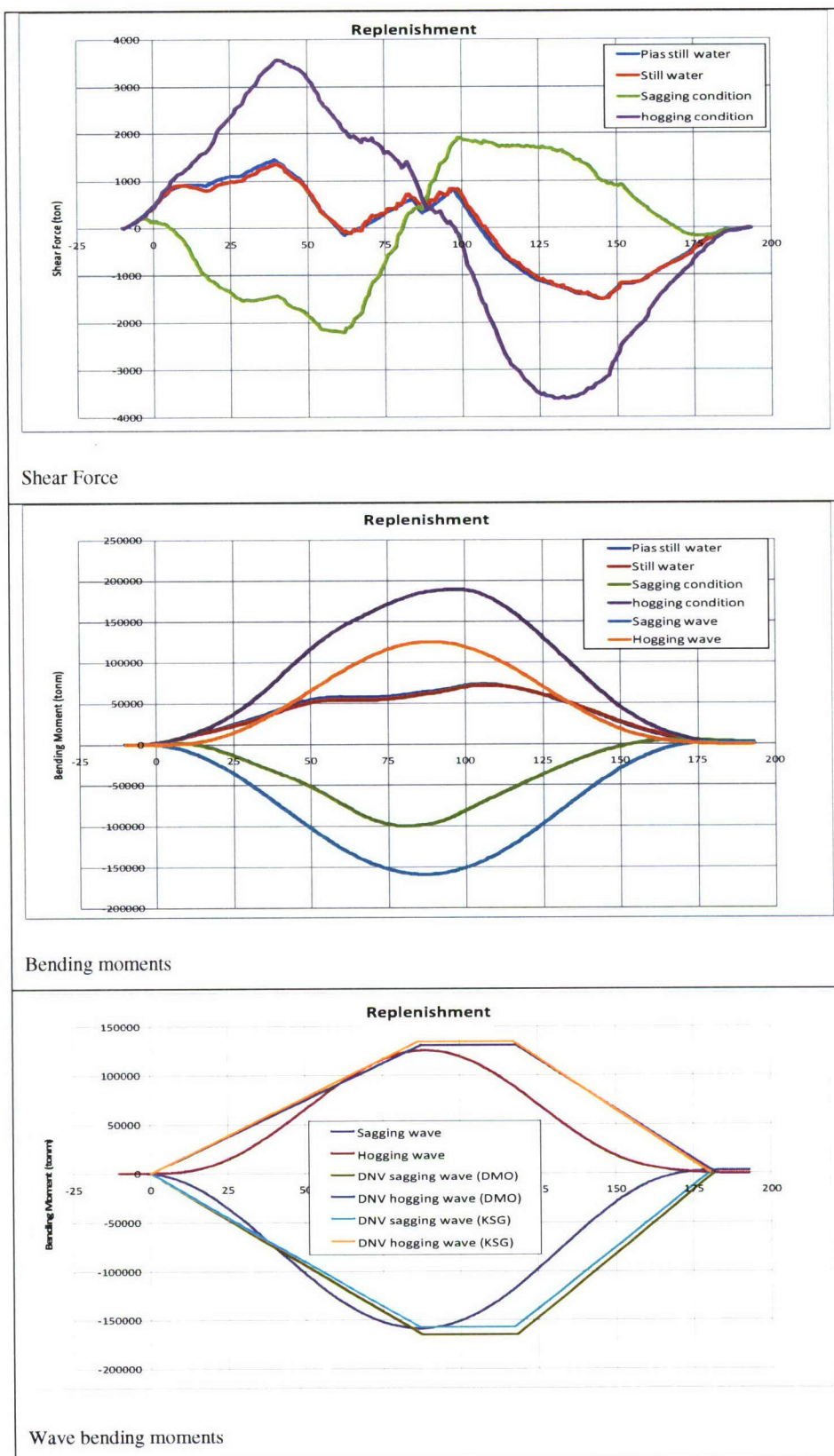
tot een forse overschatting van de spanningen midscheeps, 95m voor ALL. Ter plaatse van de openingen in het dek 100 m voor ALL) wordt de hogging belasting bij deze beladingsconditie 10% onderschat. In de enere beschouwde beladingsconditie is de fout kleiner omdat het stil water buigend moment aanzienlijk groter is.

Zoals reeds aangegeven kan het verloop van het buigend moment in het model nog aangepast worden door de vervormingen van trilvormen aan de statische oplossing toe te voegen. Een geheel enere benadering is het buigend moment aan te brengen door op vier locaties over de lengte van het schip krachten aan te brengen. Het schip wordt belast door een vier punt buigbelasting. Deze methode zal het gewenste buigend moment goed generen. Daar staat tegenover dat lokaal grote krachten op de constructie moeten worden aangebracht waardoor het spanningbeeld lokaal verstoord kan worden. Ook is de afschuifbelasting door deze 4-punts belasting niet in overeenstemming met de verdeling die DNV geeft. Op zich is dit laatste minder een probleem daar afschuiving over het algemeen niet maatgevend is.

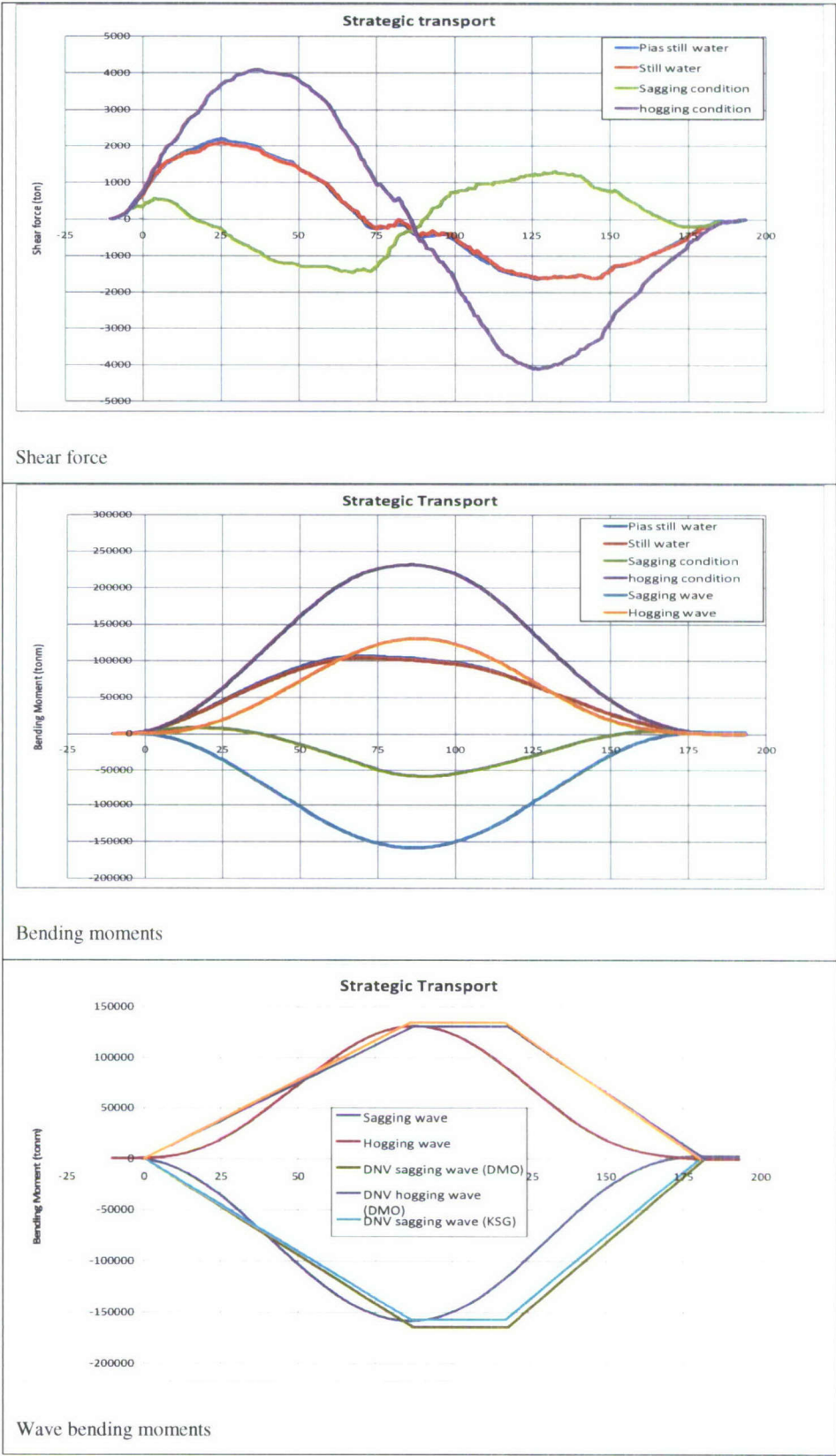


Figuur 4-1 Schematische voorstelling conversie gewichtsverdeling





Figuur 4-2 Belasting FE model in belastingconditie RL-D: "Taskgroup replenishment departure"



Figuur 4-3 Belasting FE model in belatingsconditie RL-D: “Strategic transport departure”



Figuur 4-4 Vergelijking verticaal buigend moment volgens PIAS en DNV met statische golf balans



## 5 Resultaten sterkteberekening en vermoeiingsbeoordeling

De spanningen zijn berekend voor 6 belastingsgevallen genoemd in hoofdstuk 4. In eerste instantie is op basis van de von Mises spanningen in het midden van de plaat gezocht naar locaties die mogelijk een probleem zouden kunnen opleveren. Omdat het model zeer lokale concentraties niet kan weergeven is op een aantal plaatsen waar overgangen in de constructie mogelijk aanleiding zijn tot problemen zijn de optredende spanningen gerapporteerd.

De levensduur van de constructie is beoordeeld op basis van de volgende veronderstellingen. De verdeling voor de grootte van de range is gelijk gekozen aan een (negatieve) exponentiële verdeling. De karakteristieke belastingsrange wordt gelijk gesteld aan het verschil tussen sagging en hogging conditie. Deze waarde zal slechts in 1 op  $10^7$  wisselingen worden overschreden. Het aantal wisselingen in de vermoeiingsberekening is gesteld op  $6 \cdot 10^7$  wisselingen. Hiermee is het belastingspectrum volledig bepaald.

Deze verdeling is gebaseerd op gemeten belastingen in de constructie van fregatten en zeegangsberekeningen voor fregatten waarbij een compleet golfscatter diagram is gebruikt. De vraag is of deze verdeling ook van toepassing is op een schip als het JSS. Doordat de lengte van het JSS duidelijk afwijkt van dat van fregatten kan een ener deel van het golfscatter diagram bepalend worden waardoor de verdeling verenert ten opzichte van de kleinere snellere fregatten. Een berekeningen van de belastingen en resulterende spanningen aan de hen van CRS-Struc<sup>5</sup> rekentools geeft een betere benadering van de vermoeiingsbelasting dan de methode die door DMO voor fregatten is opgesteld.

### 5.1 Globale vervormingen en spanningsverdeling

Figuur 7 en 8 geven de globale spanningsverdeling voor de twee beladingscondities in 3 golfbelastingen: vlak water, sagging golf en hogging golf. De getoonde spanningen zijn de von Mises equivalente spanningen in het midden van de plaat, zowel in de dikte richting als in het oppervlak. Uit de twee Figuren blijkt dat de condities vlakwater en sagging golf niet maatgevend zijn voor de maximaal optredende spanningen in de constructie.

In de eerst plaats vallen de spanningsconcentraties op ter plaatse van het achtereinde van de bovenbouw, in het helidek en boven de nis voor de rib. Ter plaatse van de bovenbouw de constructie lokaal voorzien worden van een dikker inzetstuk en een knie die de concentratie zal reduceren. Gezien de hoge concentratie, factor 2 in een model dat de geometrische concentratie factoren slecht beperkt beschrijft, wordt aangeraden in de detail engineeringfase deze locatie in meer detail te analyseren. De concentraties ter plaatse van de nis zullen in meer detail apart worden besproken. Enere spanningsconcentraties worden gevonden rond de openingen in het dek. Ook deze zullen nader bekeken worden.

Een ener opmerkelijk fenomeen is de spanningsverdeling in de huid ter plaatse van de MK-kamers voor. Tot aan de achterzijde van de bovenbouw is de romp dubbelwenig. Ter plaatse van de machinekamers gaat deze dubbele wen abrupt over in een

---

<sup>5</sup> Cooperative Research Ships. In de werkgroep STRUC is een koppeling gemaakt tussen FE modellen en het het hydropakket PRECAL dat de drukken op de huid berekent in zeegang. In de STRUC tool is het mogelijk een vermoeiingsbeoordeling uit te voeren op basis van een compleet golfscatter diagram waarbij de drukken op de constructie uitgangspunt zijn.

enkelwenige constructie. De maximale von Mises spanning in de huid in hogging conditie is gelijk aan 202 MPa en wordt gedomineerd door afschuiving. Indien dit schip gebouwd wordt uit NV-NS, normaal scheepsbouwstaal, is de toelaatbare von Mises spanning gelijk aan 190 MPa.<sup>6</sup> Deze zou dan worden overschreden. Indien NV-36 wordt gebruikt is de toelaatbare spanning gelijk aan 264 MPa. Hier moet worden opgemerkt dat de globale buigbelasting op deze doorsnede kleiner is dan de door DNV gewenste buigbelasting. Ook de afschuifbelasting is mogelijk afwijkend. Enige voorzichtigheid met het hanteren van deze grenswaarden is dus nodig.

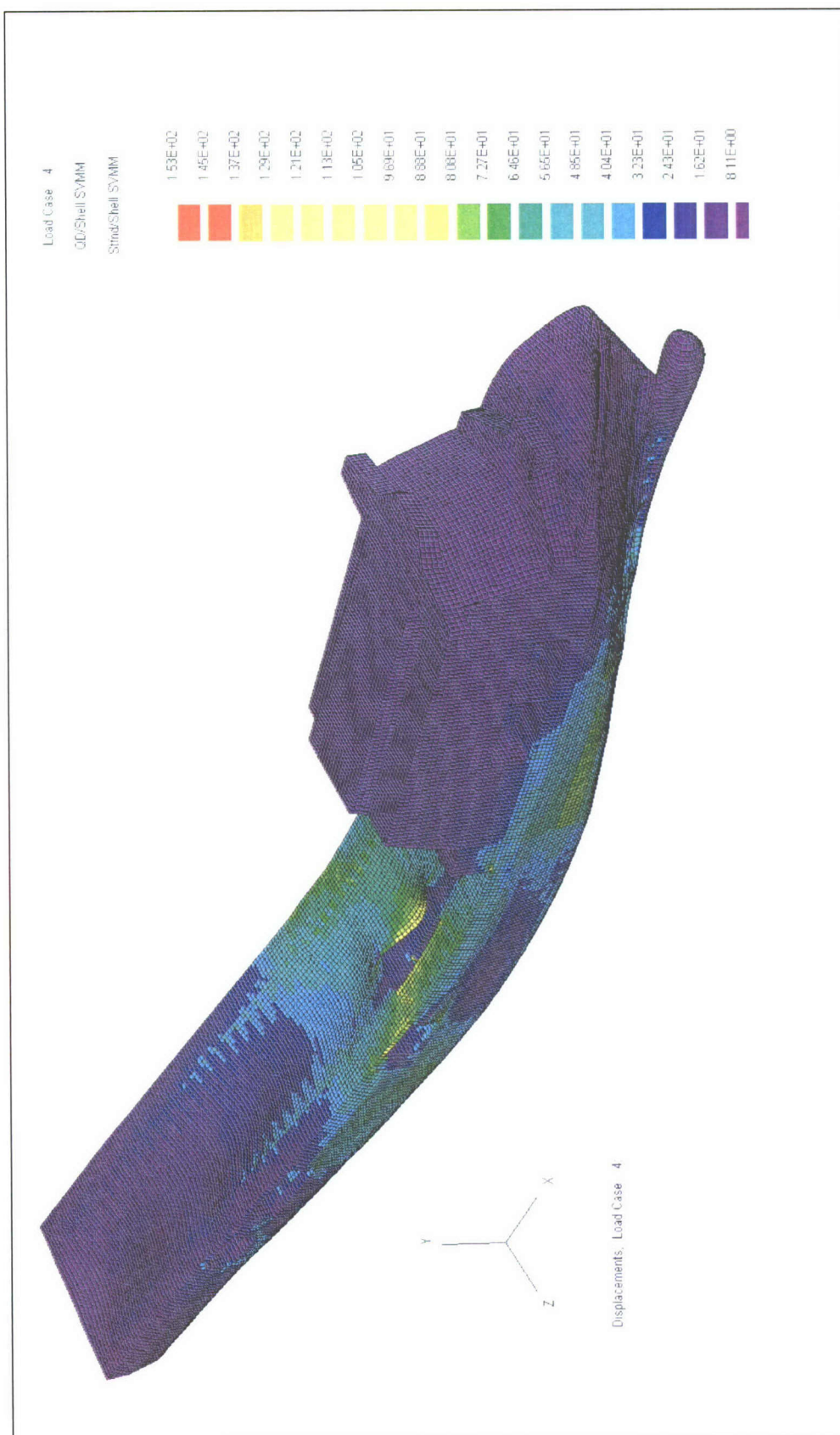
Opvallend is dat de bovenbouw weinig van de globale belasting draagt. Deels is dit waarschijnlijk het gevolg van de grote gaten in de zijde, deels is dit het gevolg van de lichte bovenbouwconstructie ten opzichte van die van de romp. Daar de spanningen in de huid onder de bovenbouw wordt gedomineerd door afschuiving en het dek veel zwaarder is dan de dekhuiswen, zal de schuifbelasting niet worden overgedragen aan de dekhuiswen.

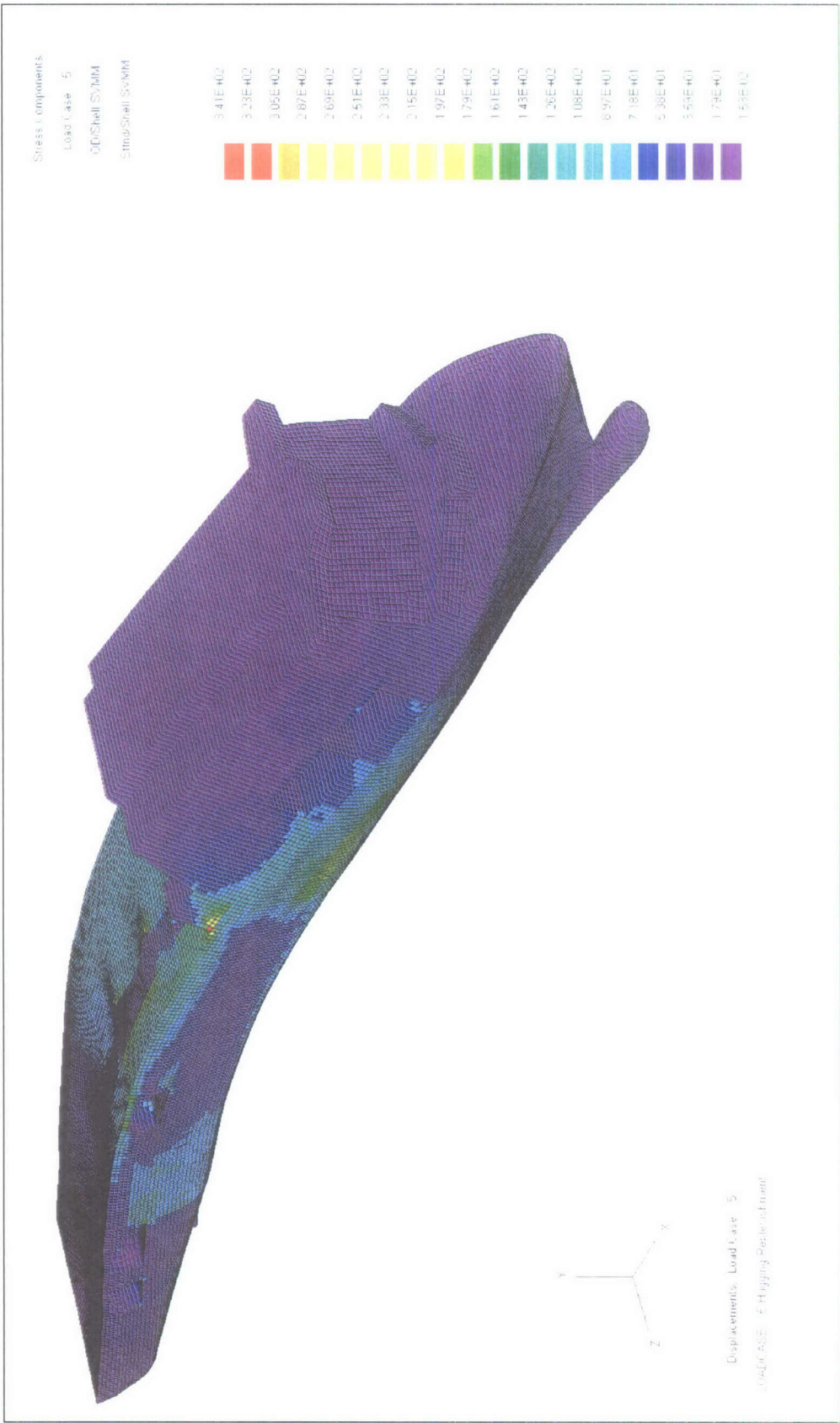
---

<sup>6</sup> Uit de tabel die DNV geeft voor toelaatbare spanningen bij direct berekeningen zoals deze is niet altijd duidelijk welke spanning wordt toegelaten. Overleg met DNV zou nodig kunnen zijn.



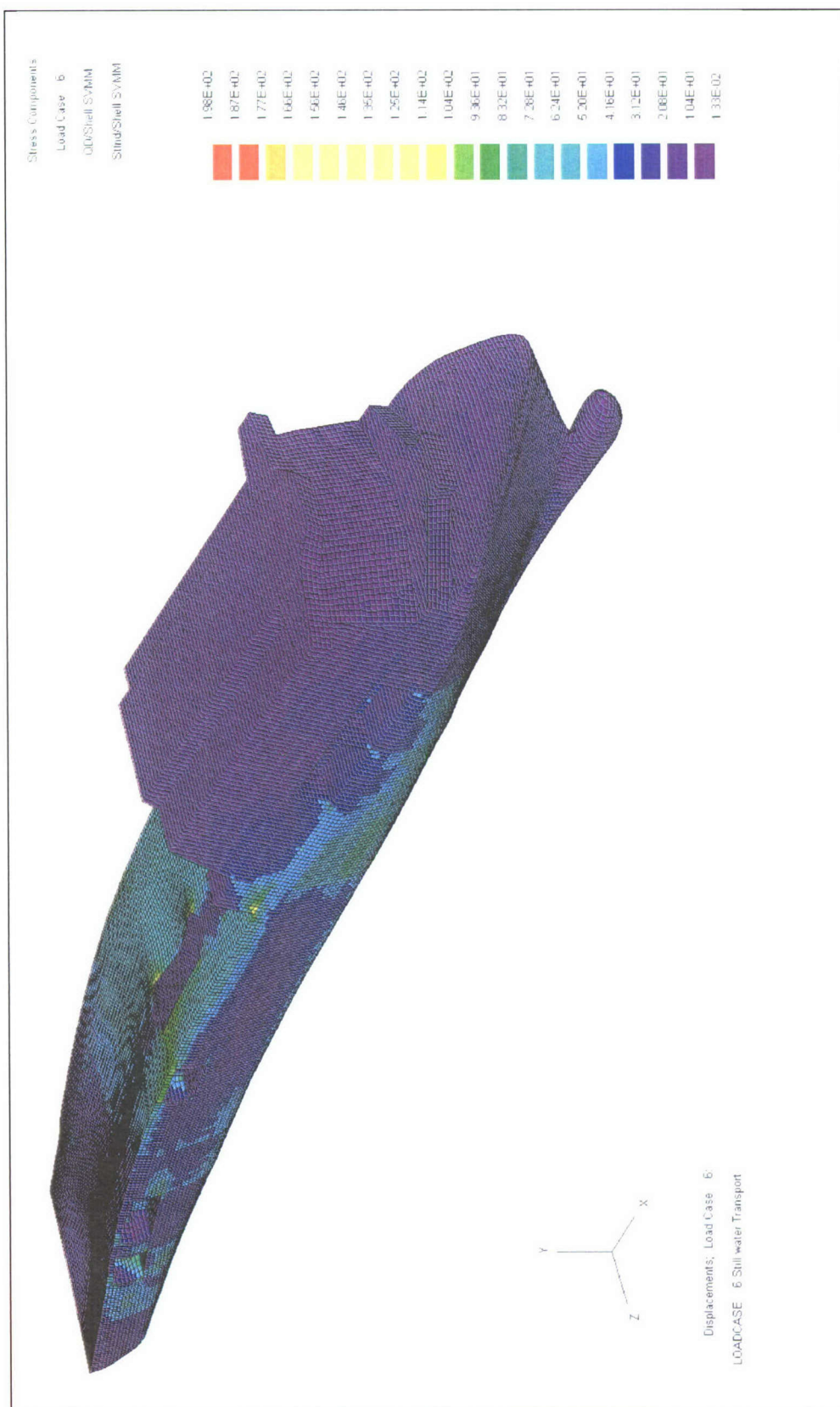


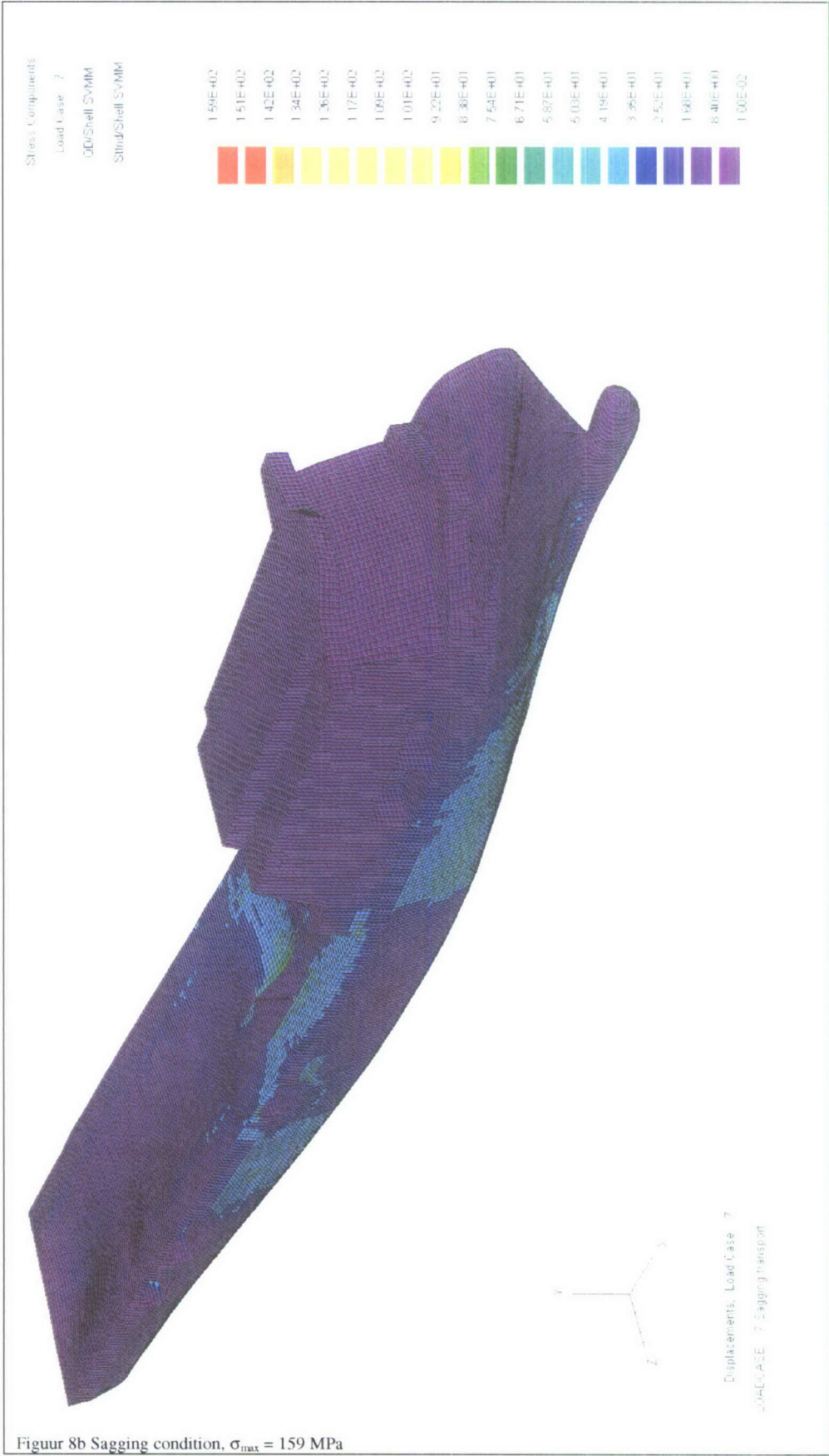


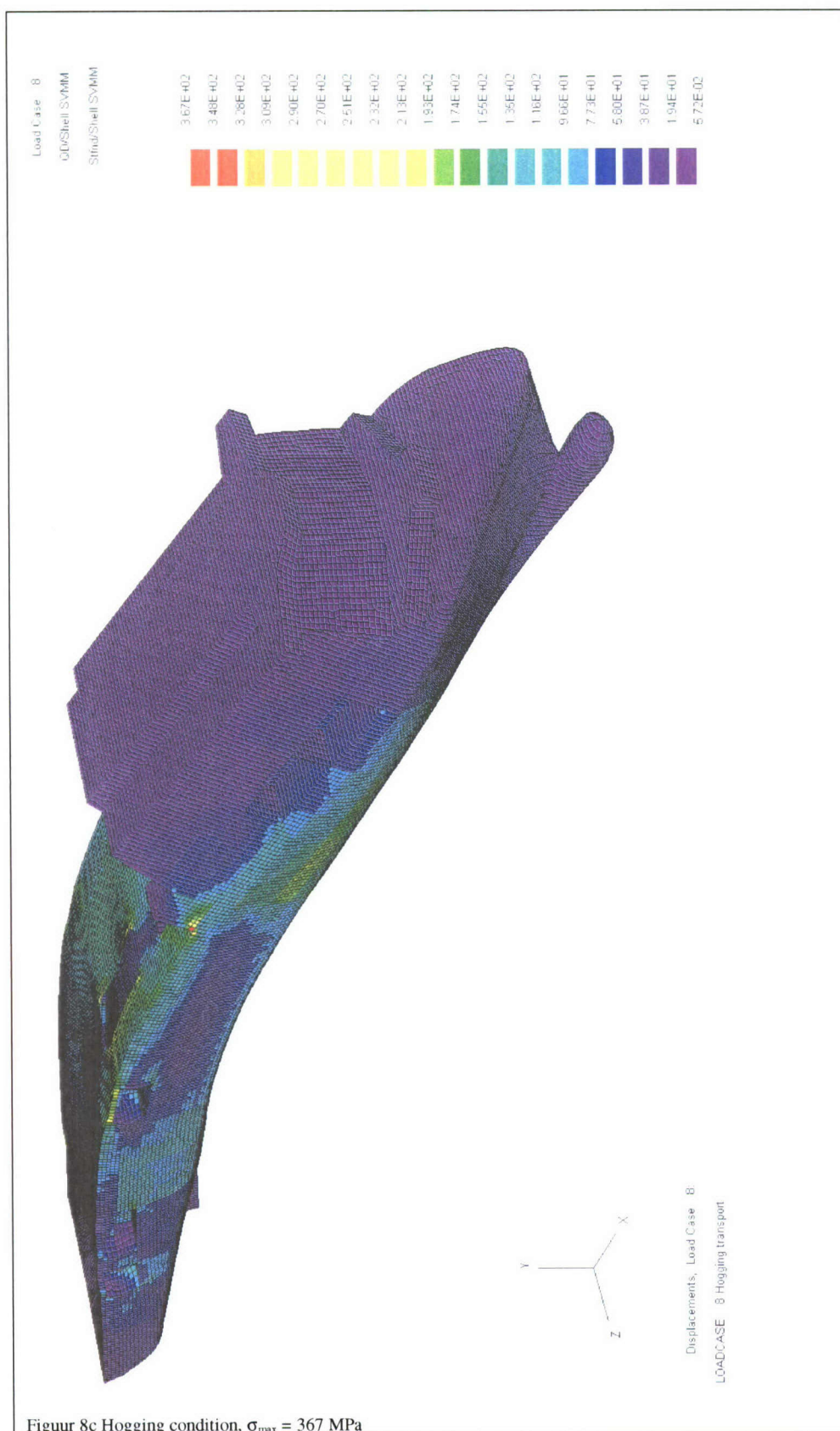


Figuur 5-1 Von Mises spanningen midden plaalementen voor belatingsconditie "replenishment departure"









Figuur 8c Hogging condition,  $\sigma_{\max} = 367$  MPa

Figuur 5-2 Von Mises spanningen midden plaalementen voor belastingconditie "strategic transport departure"



## 5.2 Helidek

De twee openingen in het dek voor de liften vormen grote verstoringen van de constructie. Naast de lokale concentraties ter plaatse van de hoekpunten van de openingen is er ook sprake van een asymmetrisch spanningsbeeld. Figuur 9 geeft de spanningen in langsrichting voor de grootste belasting: hogging strategic transport. Aan SB-zijde is de spanning in de dekstrook tussen huid en liftopeningen wat hoger (factor ~1.25) dan in hetzelfde dekdeel aan BB. De spanningen aan SB-zijde voldoen niet aan de eisen van DNV bij toepassen van NV-NS ( $\sigma_{\max}=190$  MPa).

De lokale concentraties zullen aanleiding geven tot grote schade indien geen lokale maatregelen worden getroffen. In de hoeken van de openingen zullen inzetplaten, die de opening afronden, moeten worden geplaatst. Figuur 10 geeft de vermoeiingsbeoordeling van een deel van het F-dek uitgaande van een lasdetail met sterkte  $K=40$  MPa volgens de NEN2063 op basis van de uitgangspunten genoemd in de inleiding van dit hoofdstuk. De figuur laat zien dat rond de twee openingen de levensduur kleiner is dan de gewenste 60 miljoen wisselingen. Niet alleen in de hoeken van de openingen is de levensduur korter, maar ook in de dekstrook naast de gaten is de levensduur onvoldoende of net voldoende. In de tweede beoordeling voor dit dek is de karakteristieke spanningsrange vergroot met 10%. Nu blijkt een aanzienlijk groter deel van het dek tussen huid en liftopening niet te voldoen. Een eenvoudige oplossing is de dekstrook wat dikker uit te voeren zodat de levensduur aan BB en SB globaal gelijk is. Een toename van 16 mm naar 18-20 mm voor dit stuk dek is voldoende.

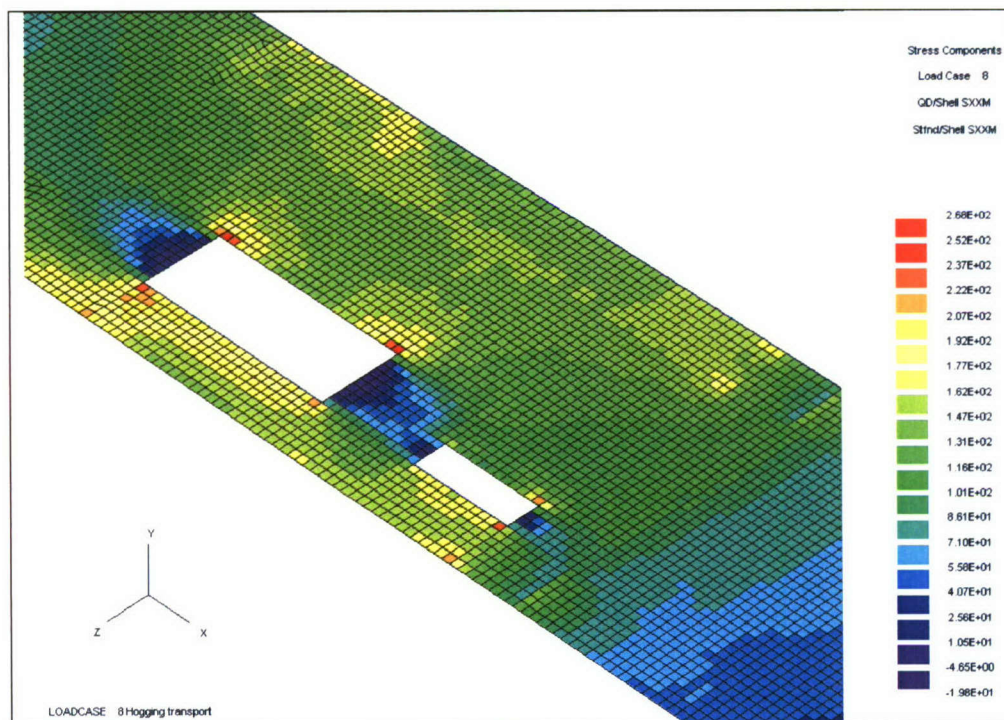
Het  $K=40$  lasdetail veronderstelt een hoeklas belast loodrecht op de lasrichting in de plaat waarop de hoeklas is geplaatst. Dit model geeft een redelijke representatie van de globale spanningsverdeling met in acht name van grote verstoringen, echter de invloed van kleinere details zoals spaargaten, doorvoeringen etc. worden niet beschreven in dit model. Om de invloed van deze lokale verstoringen te tonen is eenzelfde Miner berekening gemaakt met  $K=25$  in plaats van  $K=40$ . Figuur 11 geeft de resultaten voor de karakteristieke range en de resultaten voor het geval de spanningen 10% groter zijn dan de karakteristieke range. De figuur laat zien dat het gebied dat niet aan de eis ten aanzien van de levensduur voldoet aanzienlijk groter is. Ook blijkt de Miner som toe te nemen van ~2 voor  $K=40$  naar ~9 voor  $K=25$ . Deze hoge Miner som geeft aan dat vermoeiingschade in dit gebied zeer waarschijnlijk is indien door combinatie van factoren de vermoeiingssterkte veel lager uitvalt dan de  $K=40$ . Figuur 11 geeft het gebied waarin constructiedetails met grote zorg gekozen moeten worden.

Hoewel voor globale belastingen niet belangrijk, is in een detail model gekeken naar de langsdrager aangebracht op de HS zijde van de liftopening. Deze drager wordt door twee stutten ondersteund. Deze drager is de ondersteuning van de webframes onder het helidek. Uit het globale ShipMesh model is een stuk geknipt waarbij de ondergrens wordt gevormd door H-dek. Het helidek is belast met de ontwerpbelasting gelijk aan  $1.5 \text{ t/m}^2$  en het eigengewicht gelijk aan  $0.23 \text{ t/m}^2$ . DNV schrijft voor dat deze belasting nog vergroot moet worden met een lokale versnellingsfactor die de bewegingen van het schip in zeegang verdisconteert. Dit is in deze berekening niet gedaan omdat deze versnellingsfactor niet constant is over het model.

Figuur 12 geeft de gehele geometrie met de berekende vervormingen (vergroot). De maximale doorzakking van het is 21 mm. De overspanning ( $L$ ) van het dek is gelijk aan 19.6m. De doorzakking is weinig meer dan  $L/1000$ , in sommige klasse regels een maximum waarde.

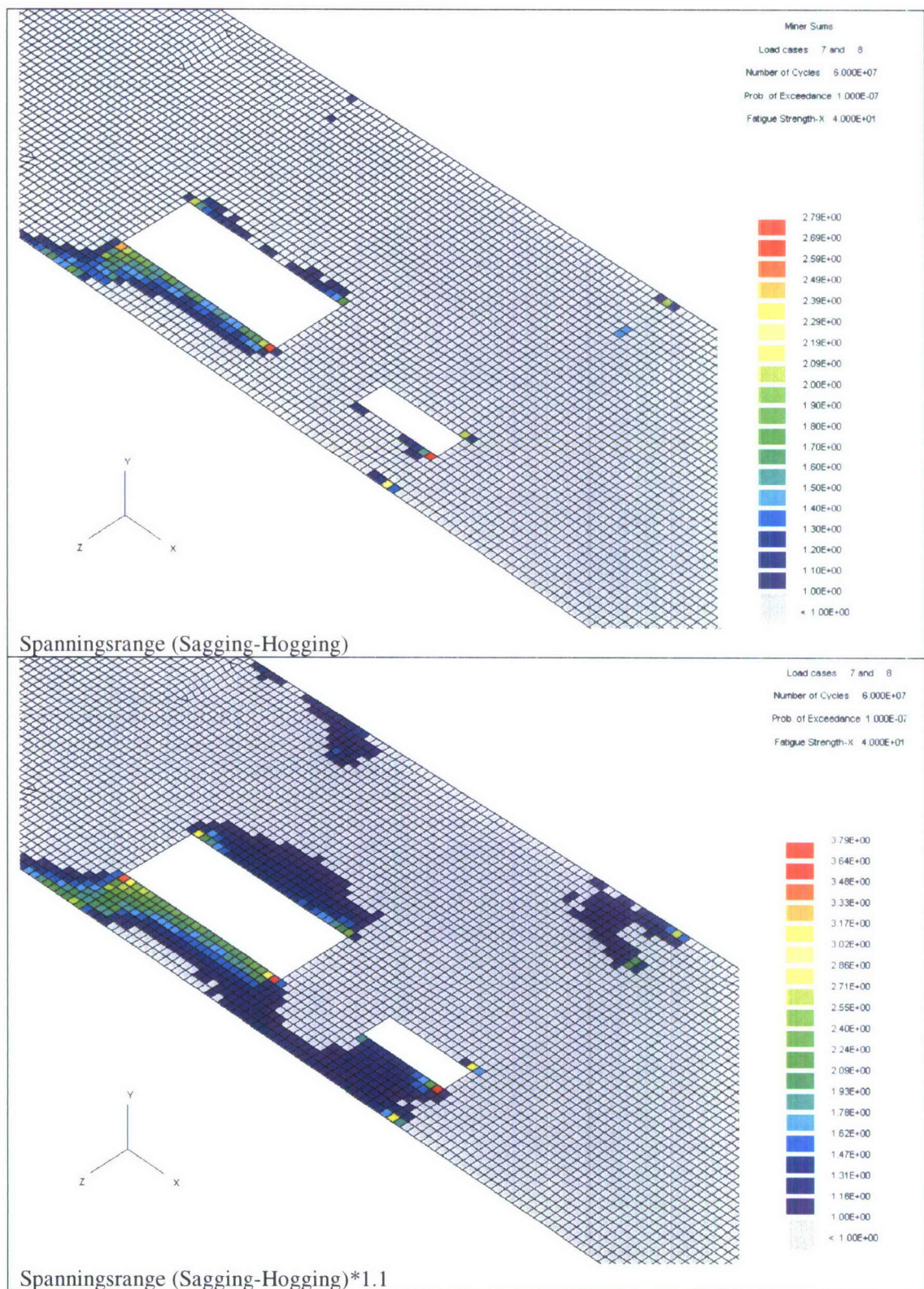
Figuur 13 geeft de spanningsverdeling in het F-dek. De bovenste afbeelding geeft de spanningen in het middenvlak van de elementen. De onderste afbeelding geeft de absoluut grootste spanning in de balkdoorsnede. In de websbeplating is de berekende spanning maximaal 162 MPa. Deze spanning treedt op ter plaatse van de verbinding met de stut. De stut is als balkelement gemodelleerd en zal lokaal de constructie op 1 punt zwaar belasten met hoge spanningen in de aan dit punt verbonden elementen tot gevolg. De stut loopt in het model door over de hoogte van het web van de langsdraager om deze concentratie te verminderen. De optredende spanningen voldoet aan de eisen van DNV. Echter er wordt aangeraden deze verbinding met zorg vorm te geven (kruisplaten, diamant platen).

Figuur 13 geeft de optredende spanningen in de balkelementen. Voor webs en girdewrs vormen de balkelementen de flens van de draager. De balkelementen in het dek beschrijven de verstijvers in het dek. De grootste spanningen treden op in de langsdraager langs het opening van de grote lift ter plaatste van de twee stutten onder de draager. De optredende spanning is gelijk aan 176 MPa (druk). De toelaatbare spanning volgens DNV is in dit geval niet eenvoudig te bepalen door de combinatie van lokale buigspanning door belasting op het dek en globale spanningen als gevolg van de langsscheepse buiging. Omdat de buigspanning door de laterale belasting een druk spanning geeft in de flens en de spanningen als gevolg van globale belastingen voornamelijk trekspanningen zijn kan aangenomen worden dat deze optredende spanningen geen overschrijding van de toelaatbare waarde zal laten zien bij gebruik van NV-NS of NV-36 staal.



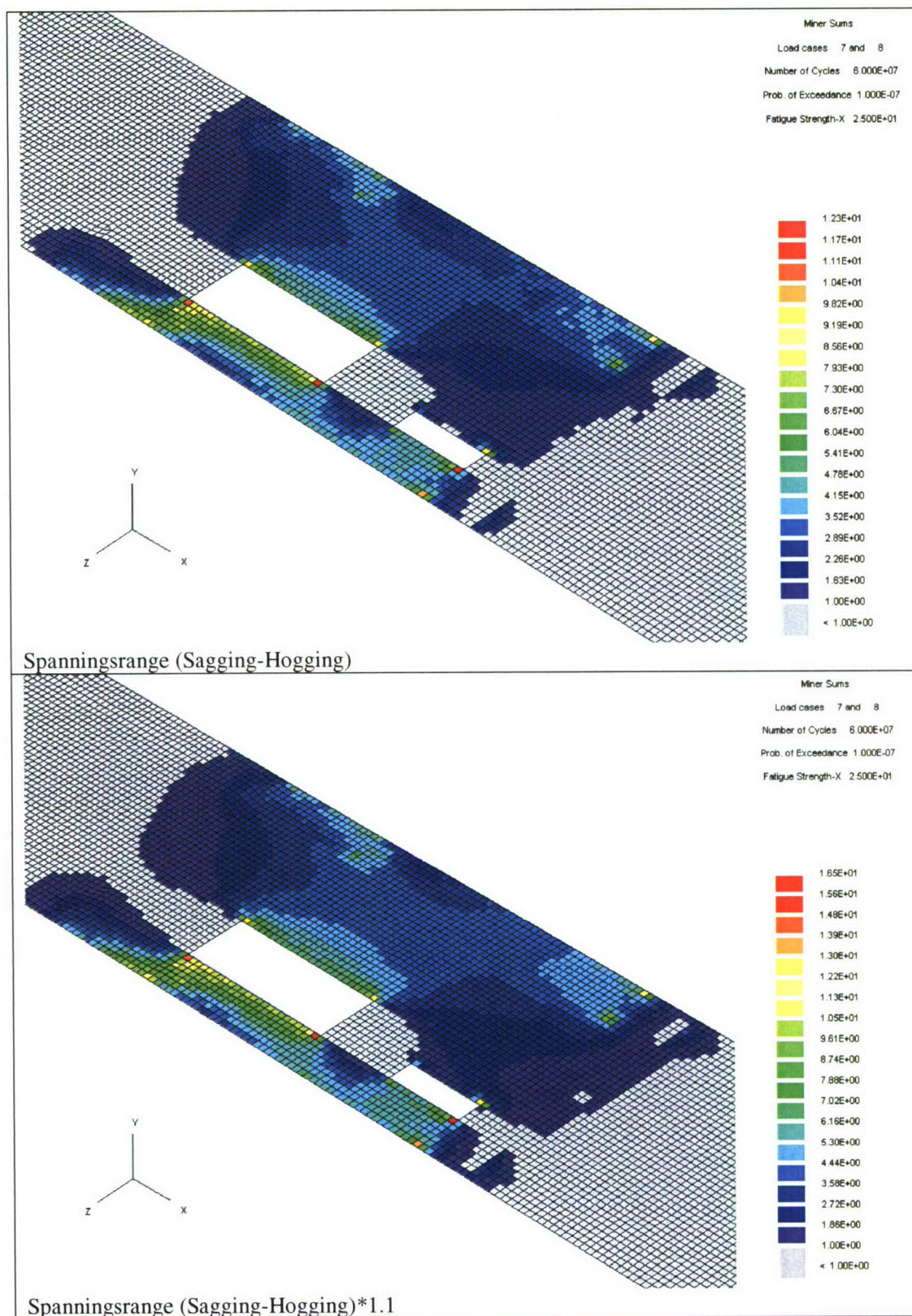
Figuur 5-3 Spanningen in de richting van de verstijvers (langsrichting) in het F-dek bij hogging conditie met belading "strategic transport departure"



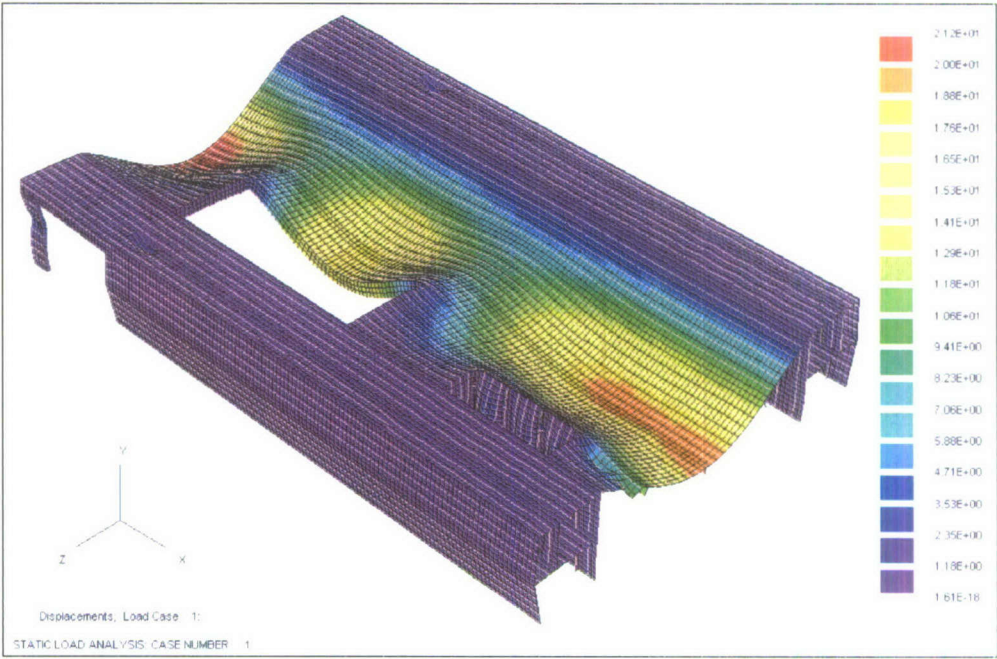


Figuur 5-4 Vermoeingsbeoordeling op basis van lasdetail K=40 MPa, en de optredende langsspanningen in het F-dek als gevolg van sagging en hogging conditie met belading "strategic transport departure".

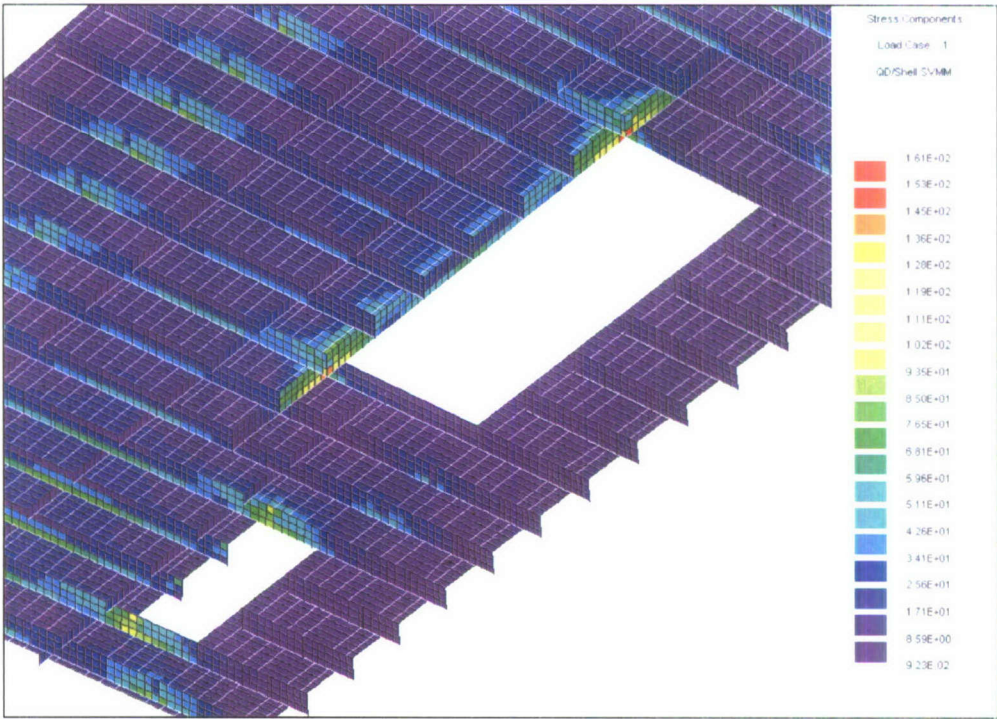




Figuur 5-5 Vermoeingsbeoordeling op basis van lasdetail K=25 MPa, en de optredende langsspanningen in het F-dek als gevolg van sagging en hogging conditie met belading "strategic transport departure".

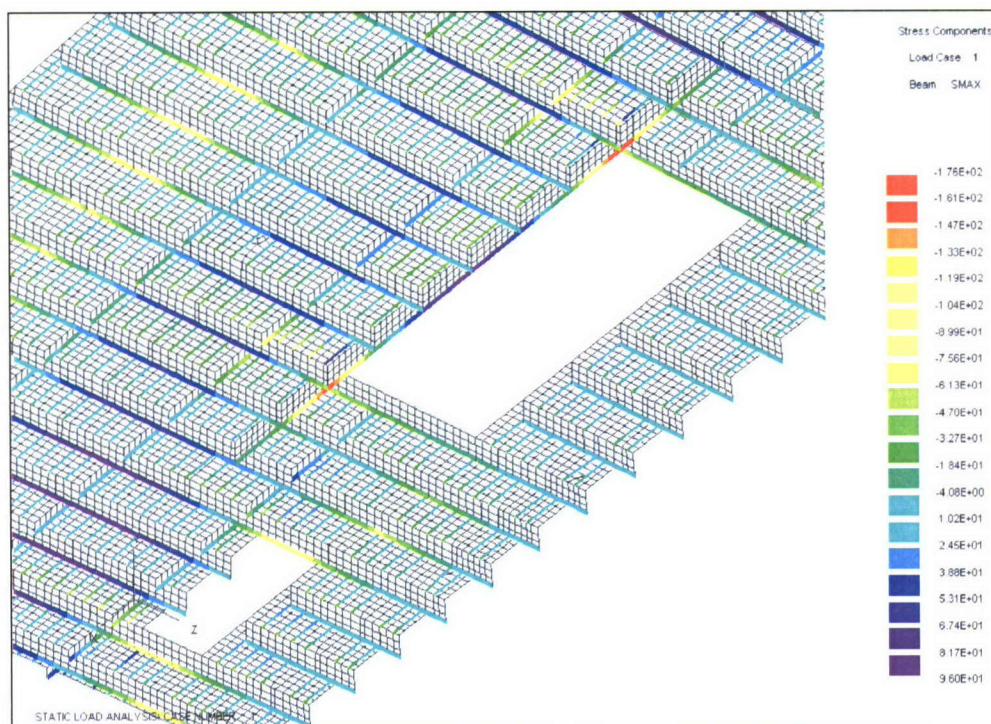


Figuur 5-6 Vervormingen F-dek onder belasting 1.73 t/m<sup>2</sup>



Figuur 5-7 Spanningsverdeling F-dek von Mises middenvlak plaalementen p=1.73 t/m<sup>2</sup>





Figuur 5-8 Spanningsverdeling balkelementen F-dek. Maximum spanning in de plakdoorsnede bij  $p = 1.73 \text{ t/m}^2$



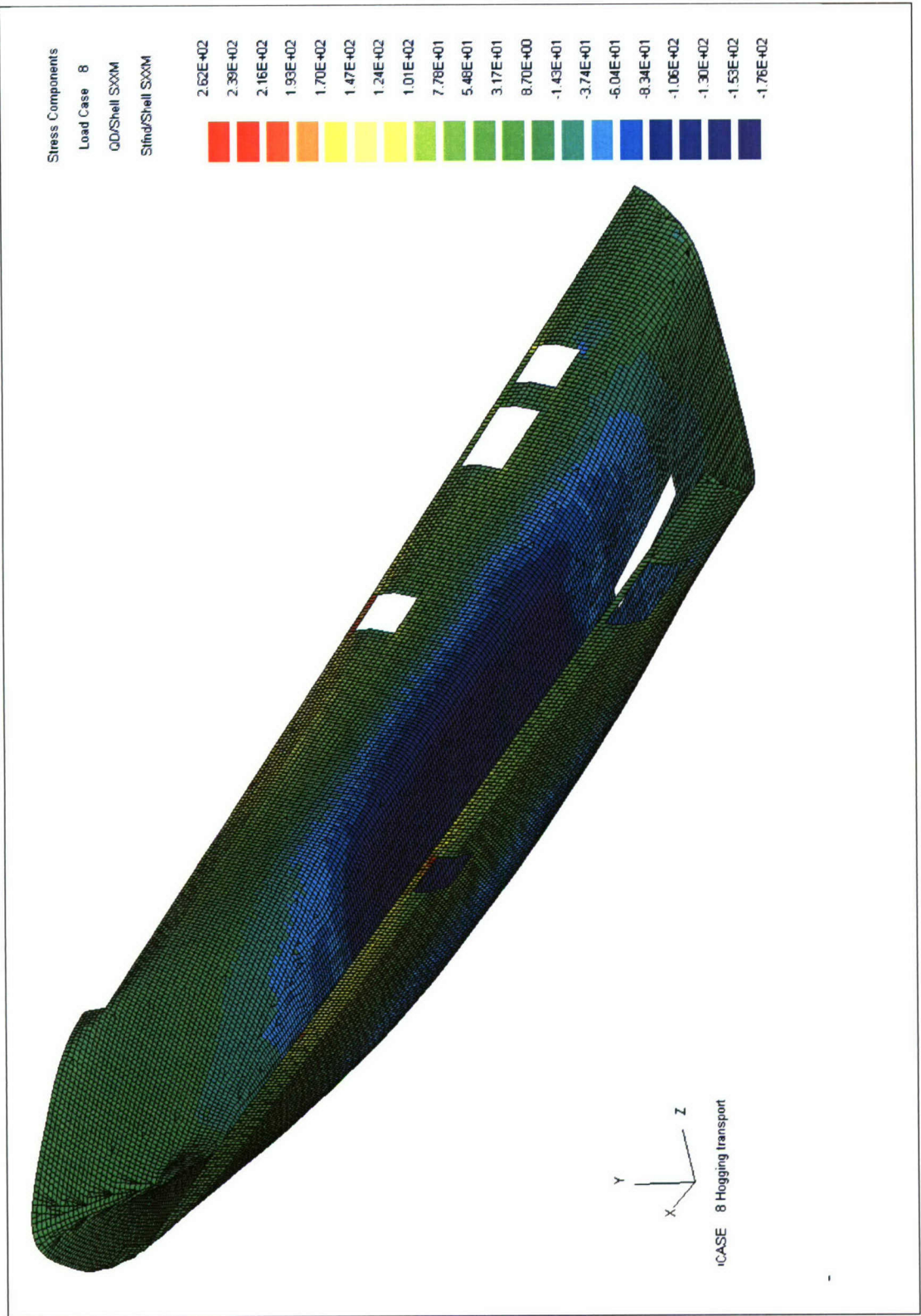
### 5.3 Huidconstructie globaal

Figuur 15 geeft de optredende spanningen in langsrichting in de huid voor hogging conditie met belading "Strategic transport departure". De maximale spanningen treden op in de ren aan de bovenzijde van de nis voor de rib's. De spanning is gelijk aan 262 MPa. Hiermee wordt de toelaatbare spanning voor NV-36 bereikt zeker gezien het feit dat het buigend moment enigszins wordt onderschat.

In de bodem zijn de spanningen gelijk aan -180 MPa. Een controle op de kniksterkte van de bodem is hier niet uitgevoerd omdat verondersteld mag worden dat DNV hiervoor in Nauticus Hull de vereiste criteria hanteert.

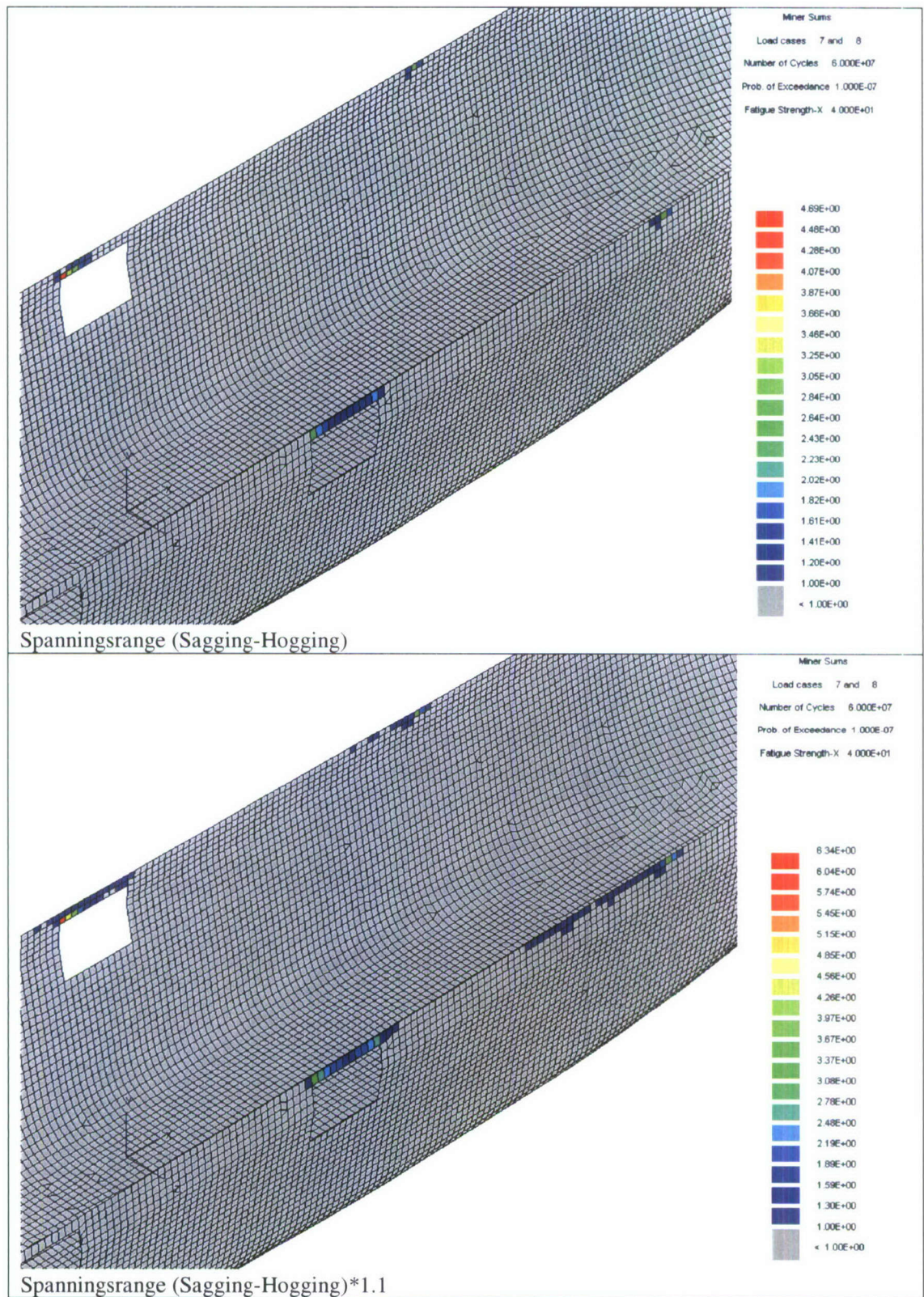
Figuur 16 en 17 geven de Miner factor voor het lasdetail  $K=40$  MPa en  $K=25$  MPa voor de nominale spanningsrange en de spanningsrange die 10% is vergroot. Voor een  $K=40$  lasdetail zijn een klein aantal locaties met beperkte omvang te zwaar belast. De ren boven de nissen voor de ribs en ter plaatse van het achtereinde van de bovenbouw. Indien de concentratie in de hoeken buiten beschouwing worden gelaten, op deze plaatsen moet een inzetplaat worden aangebracht, is de gebruiksfactor 2-4. De factor 2-4 geeft aan dat lokaal de spanningen moeten worden gereduceerd door een dikkere plaat aan te brengen boven de nis. Mogelijk dat samen met aanpassen van het F-dek de toename van de plaatdikte gering kan zijn.

Voor het  $K=40$  detail is er geen vermoeiingsprobleem in de bodem van het schip. Indien  $K=25$  MPa wordt gebruikt als referentie, hiermee lokale geometrische concentraties in rekening brengen die niet door het model worden beschreven, wordt op een aantal locaties in de bodem de gewenste levensduur niet gehaald, met name in de bodem onder het munitieruim. Indien de nominale belasting wordt vergroot met 10% wordt in de bodem over een groot gebied de gebruiksfactor 1 overschreden, d.w.z. de levensduur is kleiner dan de gewenste levensduur. Over een gebied tussen spant 80-140 zullen lokale concentraties in combinatie met lassen in de constructie vermeden moeten worden.



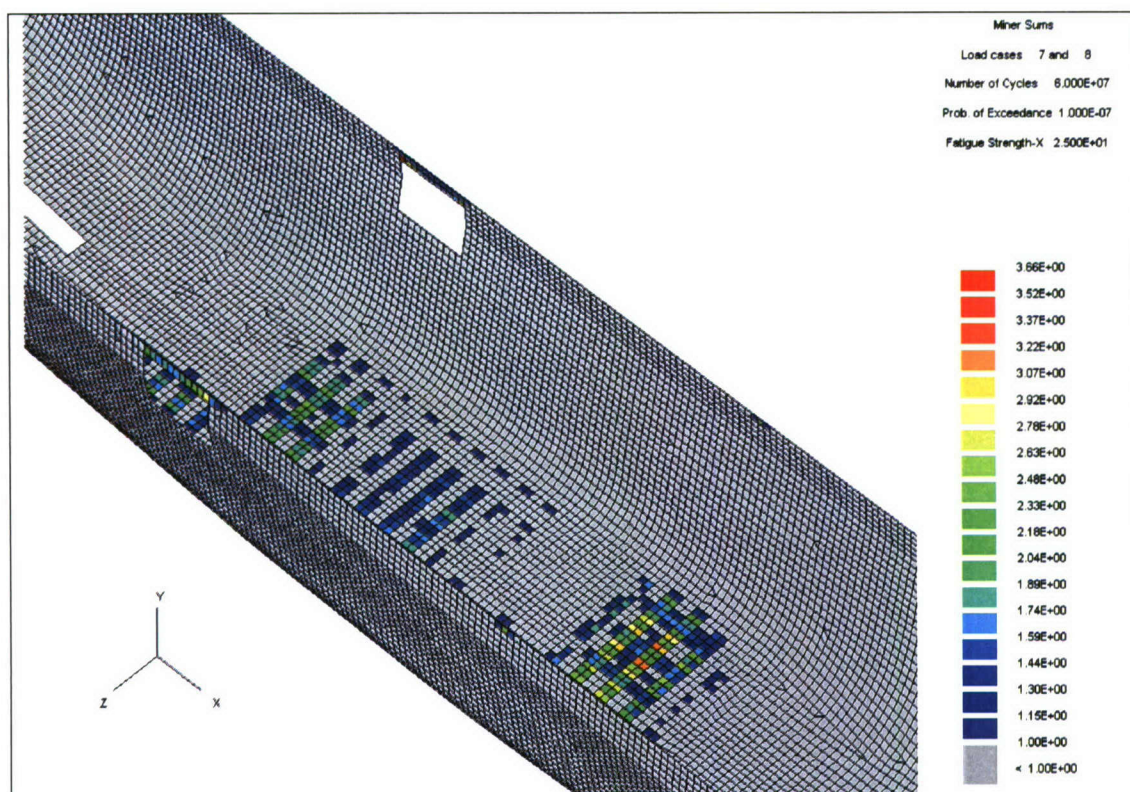
Figuur 5-9 Optredende langsspanningen hogging conditie met belading “strategic transport departure”.



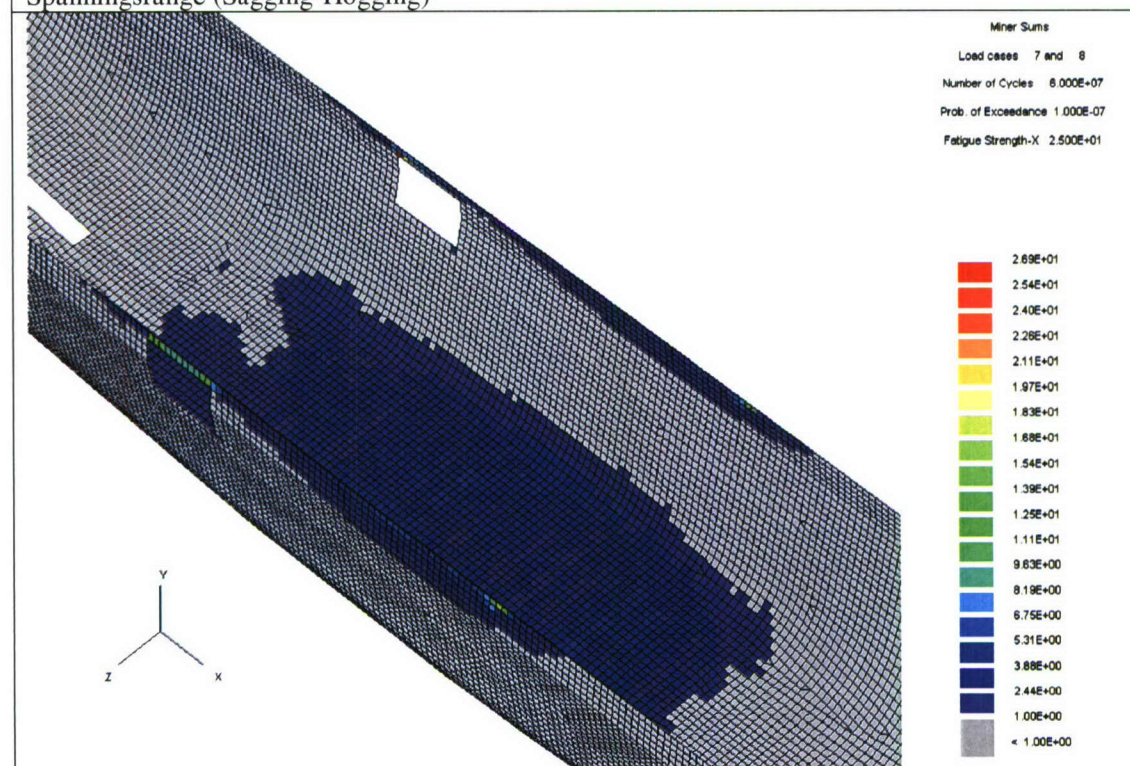


Figuur 5-10 Vermoeingsbeoordeling op basis van lasdetail K=40 MPa, en de optredende langsspanningen in de huid als gevolg van sagging en hogging conditie met belading "strategic transport departure".





Spanningsrange (Sagging-Hogging)



Spanningsrange (Sagging-Hogging)\*1.1

Figuur 5-11 Vermoeiingsbeoordeling op basis van lasdetail K=25 MPa, en de optredende langsspanningen in de huid als gevolg van sagging en hogging conditie met belading "strategic transport departure".

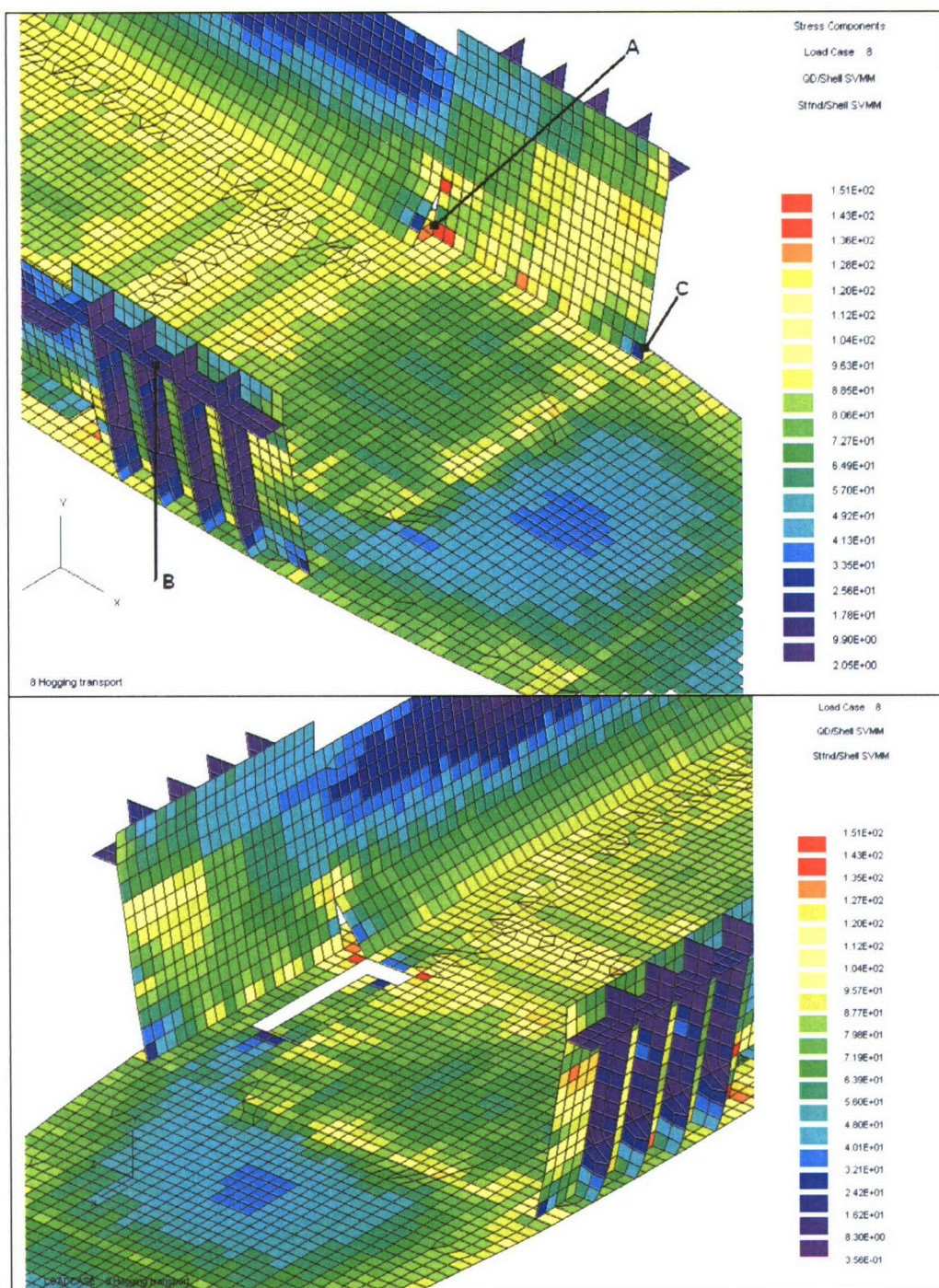
#### 5.4 Dubbele huidconstructie

De dubbele huid ter plaatse van de olie tanks wordt in het munitieruim voortgezet. Ter plaatse van de overgang naar het munitieruim verenert de onderzijde van de dubbele huid abrupt. Dit is aanleiding tot een aantal spanningsconcentraties in de constructie. Figuur 18 geeft de berekende spanningen in BB en SB dubbele huidconstructie. De twee grote spanningsconcentraties aan BB (A in figuur 18), ter plaatse van de aansluiting op de tanktop en daar waar de twee schuine wenen van de binnenhuid samenkomen, verdienen een nadere detail analyse. Natuurlijk valt ook te overwegen om de sprong in de binnenhuid ter plaatse van spant 140 te vermijden. Dit geeft wel een gewelfde plaat die duur in productie is maar voorkomt wel een groot aantal problemen. Opvallend is wel dat aan SB de spanningen ter plaatse van deze overgang kleiner zijn. Dit wordt toegeschreven aan de asymmetrie in de constructie door de gaten in het dek en de put in de tanktop voor de ammunitielift.

Figuur 18 suggereert dat de stringers (B) aan de bovenzijde van de dubbele huid niet vastzitten aan de omliggende constructie, huid en tankwenen. Nadere analyse leert de binnenwene in het ammunitieruim voornamelijk door schuifkrachten wordt belast. Deze schuifbelasting wordt niet opgenomen door de stringers die daardoor veel lager belast zijn. Opvallend is ook dat aan de einden van de stringers geen spanningsconcentraties te zien zijn. Het model is hier nog grof. Een detailanalyse zal ongetwijfeld laten zien dat knieën in het verlengde van de stringers geplaatst moeten worden om vermoeiingsschade te voorkomen.

Ook opvallend is dan aan de voorzijde van de binnenhuid (C) geen spanningsconcentratie optreedt. De spanning daalt zelfs terwijl ter plaatse van de aansluiting met de tanktop toch een concentratie wordt verwacht. Ook deze anomalie kan verklaard worden uit de belasting op de binnenhuid die voornamelijk afschuiven betreft en de constructie voor deze belasting geen discontinuïteiten bevat.





Figuur 5-12 Aanzicht binnenzijde dubbele huid, von Mises spanningen in hogging conditie bij belading "strategic transport departure"



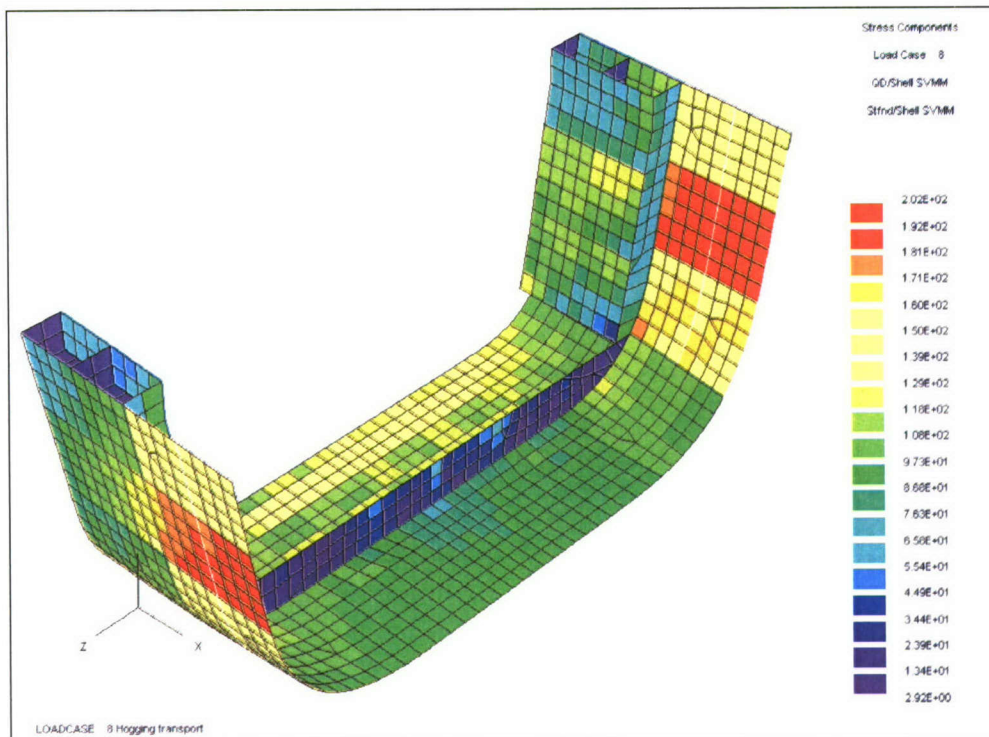
## 5.5 Huidconstructie spant 152-168

In bespreking van de globale spanningen is al naar voren gekomen dat daar waar de dubbele huid ophoudt de spanningen in de huid ogenschijnlijk stapsgewijs toeneemt. Figuur 19 geeft de spanningsverdeling in de huidsectie tussen spant 152, midden ammunitieruim en spant 168 voor de hogging conditie bij belading "strategic transport departue".

In de huid tussen K- en J-dek worden de grootste spanningen berekend. De schuifspanningen in de constructie zijn hier dominant. Midden tussen K-en J-dek zijn de schuifspanningen in detail onderzocht. In de huid achter spant 160 ( $t=11\text{ mm}$ ) is de schuifspanning gelijk aan 79 MPa. Juist voor schot spant 160 is de schuifspanning gelijk aan 103 MPa. Op zich is dit geen echt grote sprong en het verschil tussen de elementen is gelijk aan de schuifstroom in het dwarsschot. De schuifspanning in het dwarschot ter plaatse van de aanhechting op de huid is 34 MPa bij  $t=7\text{ mm}$ . Sommeren van de schuifstromen in het schot en die in de huid achter spant 160 levert  $79 \cdot 11 + 34 \cdot 7 = 1107\text{ MN/mm}$ . Bij een dikte van 11 mm levert dit weer een schuifspanning gelijk aan 101 MPa. Verder naar voren neemt deze schuifspanning nog toe tot  $\sim 140\text{ MPa}$  bij spant 168. Het stoppen van de dubbele huid geeft dus wel aanleiding tot een herverdeling van de schuifkrachten maar geeft geen grote spanningsconcentraties te zien.

De optredende spanningen, 140 Mpa schuifspanning, 202 MPa von Mises, zijn niet acceptabel bij toepassing van NV-NS. Bij NV-36 zijn deze spanningen ruimschoots acceptabel. Hierbij wordt wel opgemerkt dat de schuif- en buigbelasting ter plaatse van spant 160 in het model aanzienlijk kleiner is dan door DNV voorgeschreven. Ten opzichte van deze berekening zal de afschuifbelasting groter zijn indien de DNV buigbelasting kan worden gesimuleerd. De berekende spanningen zijn dus wel aan de lage kant. Voor NV-36 is de verwachte toename van de spanning waarschijnlijk acceptabel.

De sprongen in spanningen ter plaatse van de aansluiting van de tanktop en het K- en J-dek zijn "normaal". In deze doorsnede verstoren de dekken een continue verdeling van de schuifspanning. Ter plaatse van de dubbele huid zijn deze verstoringen echter kleiner. Dit verklaart grotendeels de ogenschijnlijke grote toename van spanningen in de huid voor spant 160.



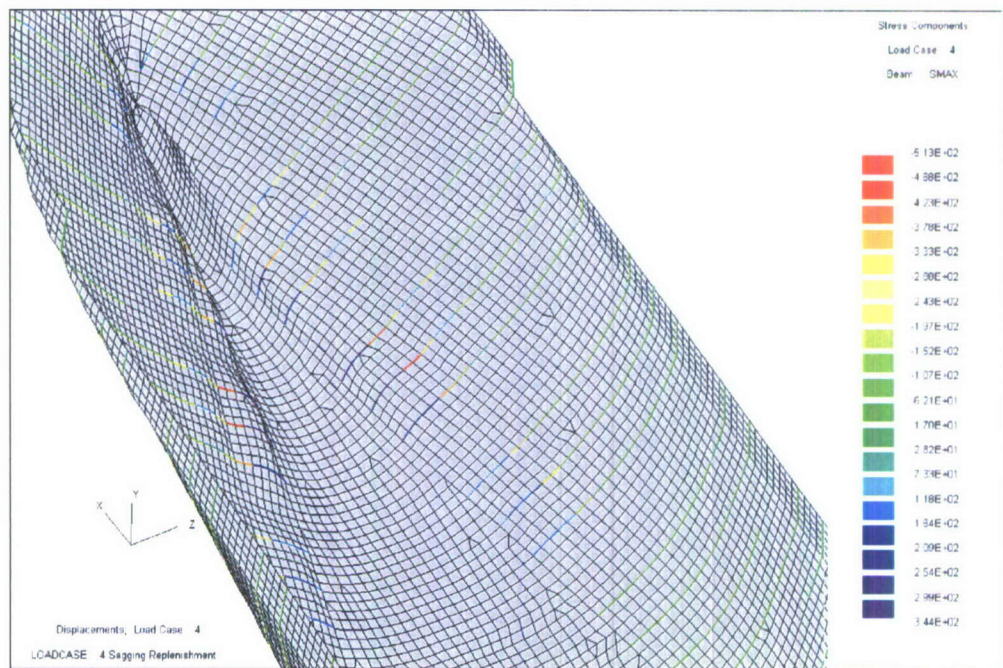
Figuur 5-13 Spanningsverdeling huid en tanks ter plaatse van spant 140-172, einde van de dubbele huid constructie.



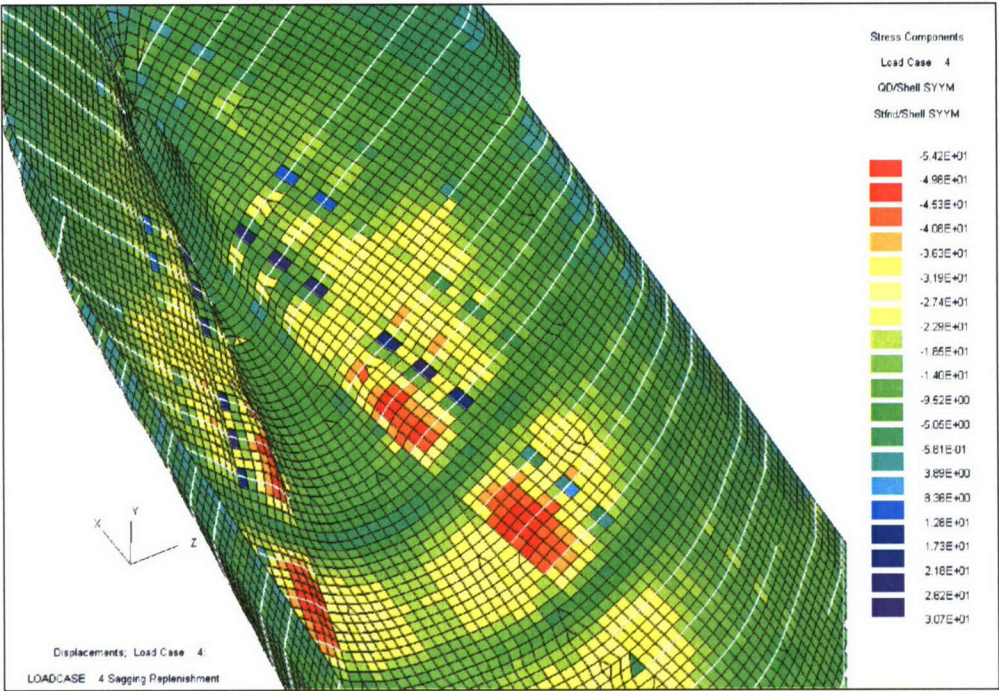
## 5.6 Huidconstructie voorschip

Figuur 20 geeft de spanningen in de gordingen van de webframes voor sagging conditie bij belasting "Replenishment departure". De maximaal optredende spanning in de gordingen is gelijk aan 512 MPa. Voor deze belasting laat DNV een spanning toe gelijk aan 160 MPa voor NV-NS en  $160 \cdot 1.39 = 222$  MPa voor NV-36. De overschrijding van de toelaatbare waarde wordt deels veroorzaakt door de aansluiting van balkelementen op plaalementen ter plaatse van de tanktop. De plaalementen in het model leveren vrijwel geen stijfheid tegen rotatie op het punt waar de balk aansluit: het webframe is ter plaatse van de tanktop opgelegd. Dit heeft tot gevolg dat bij de aansluiting met het K-dek het buigend moment maximaal is en aanzienlijk groter dan dat van een tweezijdig ingeklemde balk. Echter ook in het webframe tussen K-dek en J-dek wordt de toelaatbare waarde bij toepassing van NV-36 overschreden. Hierbij wordt opgemerkt dat de waterdruk op de huid als gevolg van de golf lager is dan de ontwerpdruk volgens DNV.

Figuur 21 geeft de spanningen in de huid parallel aan de richting van de webframes. Hiermee wordt de buigspanning door de buiging van de webframes als gevolg van de lokale druk verkregen. Deze spanningen zijn veel lager dan de spanningen in de gording van de webframes. Dit geeft aan dat verzwaring van de webframes effectief zal zijn ter reductie van de spanningen in de gording: De neutrale as blijkt dicht tegen de huid te liggen.



Figuur 5-14 Spanningen flens webframes sagging conditie



Figuur 5-15 Spanningen plaatveld // webframes sagging conditie



## 5.7 Dubbele bodem en tanktop

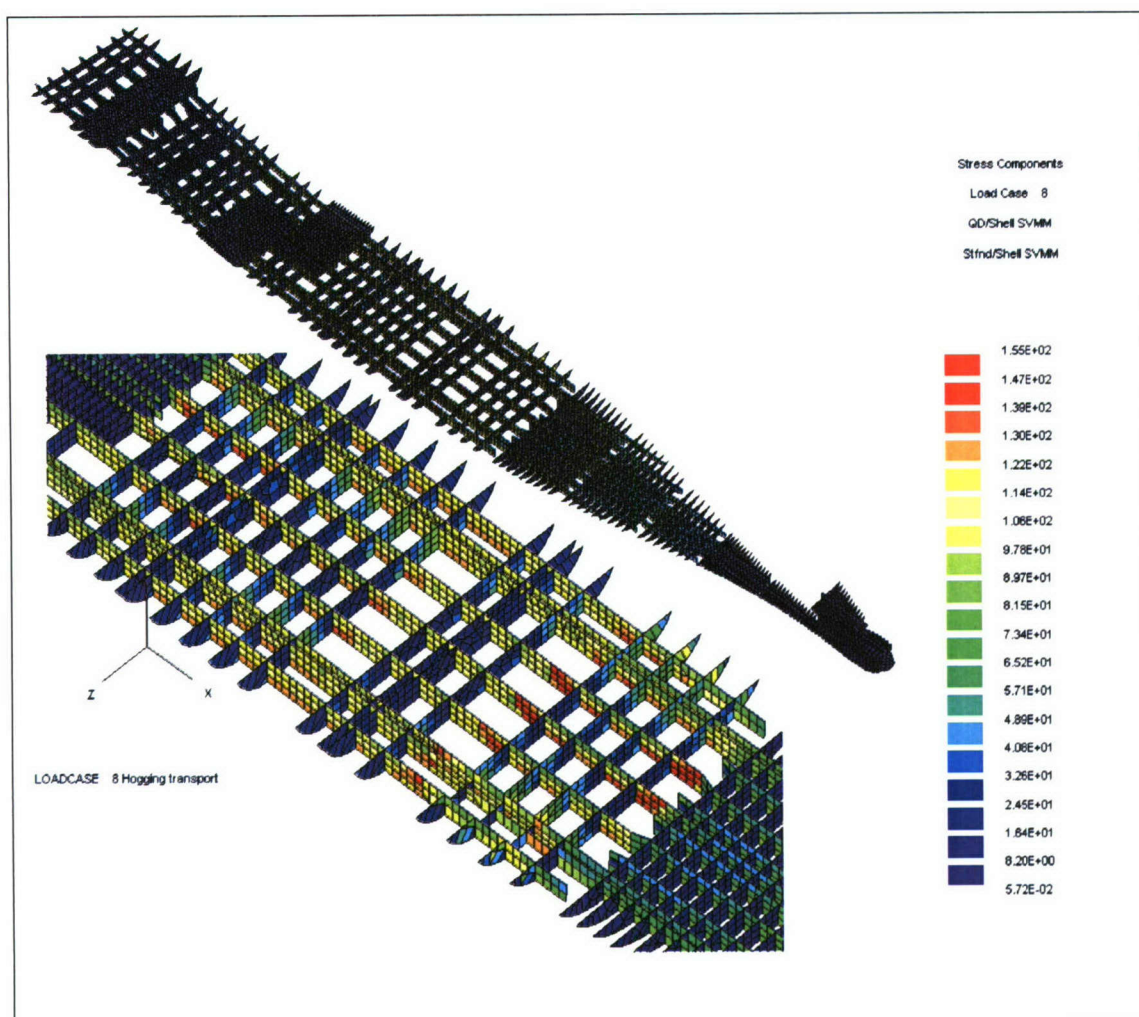
In de dubbele bodem constructies zijn op verschillende plaatsen de zaathouten onderbroken of vertonen een grote abrupte overgang in plaatdikte daar waar de zaathouten onderdeel vormen van geïntegreerde fundaties. Figuur 22 geeft de spanningen in de vrangen en zaathouten voor de hogging conditie in combinatie met de belading volgens “strategic transport departure”.

De resultaten laten zien dat de vrangen niet zwaarbelast zijn. De zaathouten zijn hoger belast omdat deze een deel de langsscheepse buiging opnemen. In de resultaten worden geen ontoelaatbare grote spanningen gevonden. Daar waar de plaatdikte toeneemt zakt de spanning naar verhouding van de dikte (voorzijde munitieruim).

Figuur 23 geeft de spanningsverdeling in de tanktop voor hogging conditie met belading “strategic transport departure”. Over het geheel genomen zijn de optredende spanningen lager dan de toelaatbare waarde waarvan verondersteld is dat deze gelijk is aan 190 MPa voor NV-NS en 264 MPa voor NV36 staal. Ook in dit geval is er sprake van mogelijk combinatie van belastingen: druk in de tanks met globale buiging.

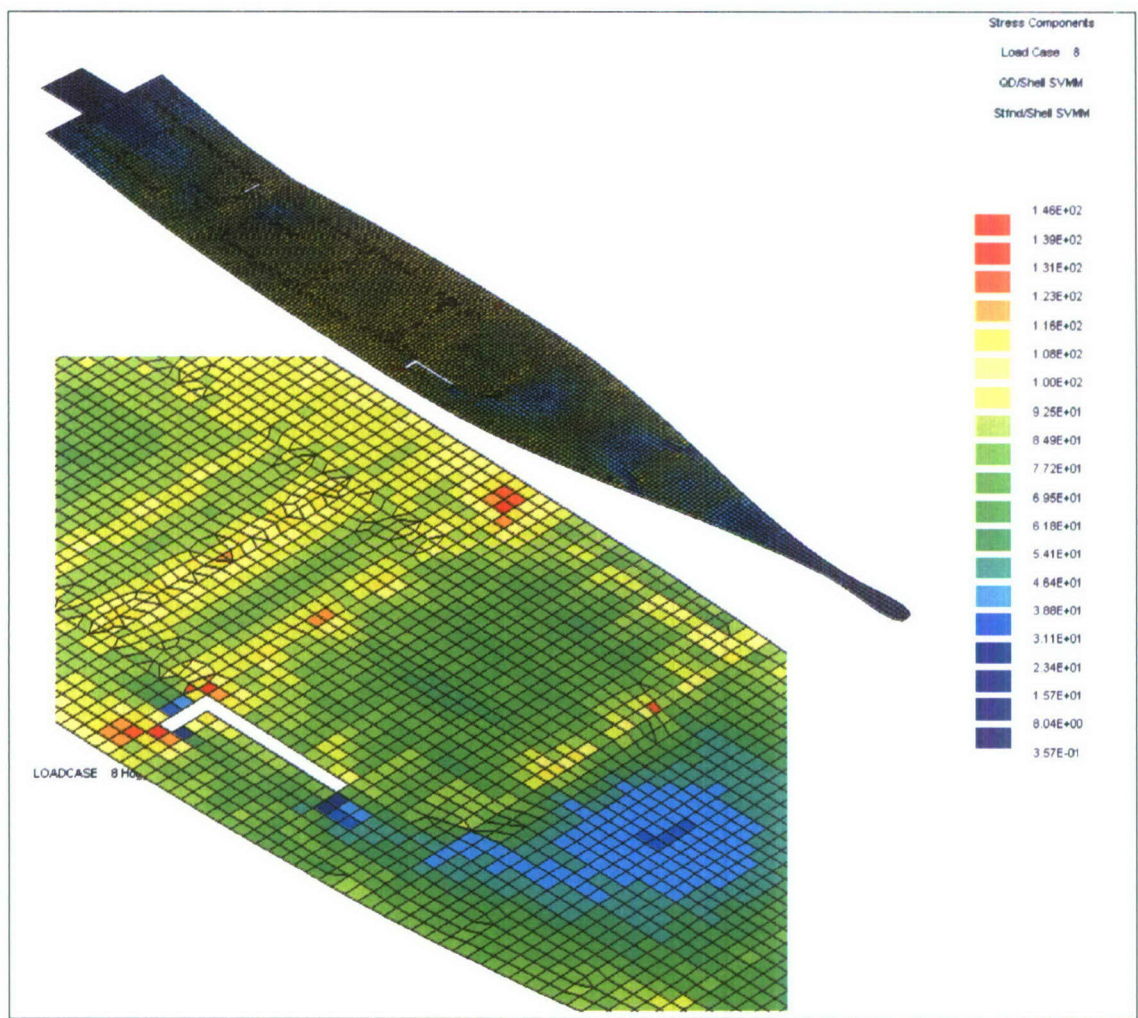
De maximale spanning in de tanktop is 146 MPa. Deze spanning is echter aanzienlijk groter dan de gemiddelde spanning 70-110 MPa. De “hotspots” worden veroorzaakt door abrupt stoppen van een fundatie zaathout in de overgang van machinekamer naar munitieruim, verenering van dubbele huid constructie en de put voor de munitielift. Het abrupt stoppen van zaathouten aan het einde van een module is wel conform de staalplannen. Op de staalplannen is echter ook een overgangsconstructie aangegeven die niet in dit model kan worden opgenomen. Verondersteld mag worden dat deze overgangen geen vermoeiingsprobleem zullen opleveren bij goede detaillering van de lasdetails.

De hoeken in de put voor de liftschacht moeten worden voorzien van afrondingen en mogelijk dikkere inzetplaten: stenaard scheepsconstructiedetails.



Figuur 5-16 Spanningen dubbele bodem constructie, vrangen en zaathouten, hogging conditie belading "strategic transport"





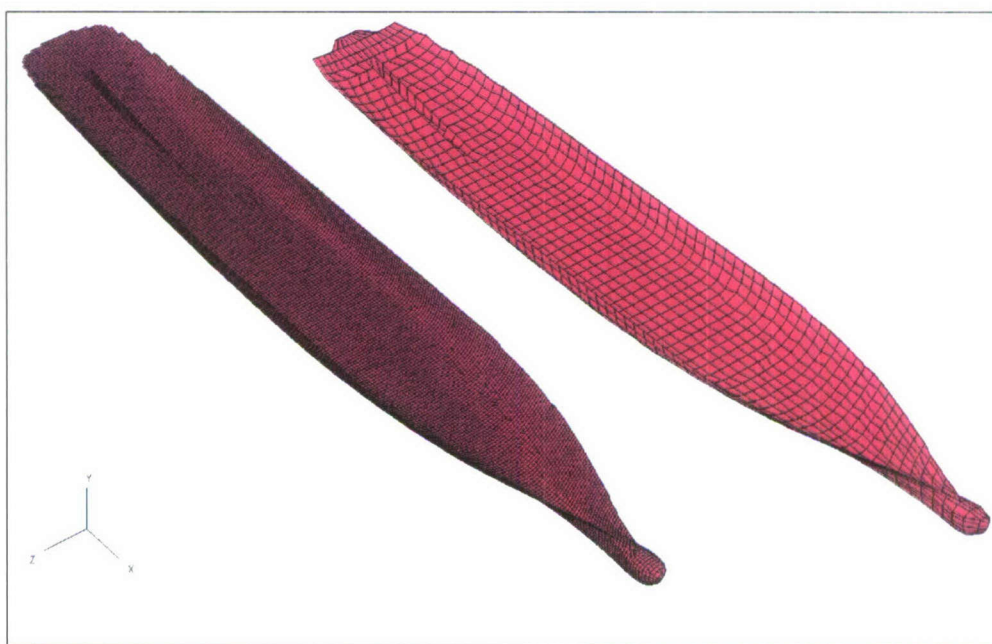
Figuur 5-17 Spanningen tanktop hogging conditie belading "strategic transport"





## 6 Eigenfrequenties

De eigenfrequenties van het JSS zijn berekend op basis van de gewichtsverdeling “replenishment departure”. Het model is op veren geplaatst waarvan de veerstijfheid in verticale richting gelijk is aan de stijfheid van de hydrostatische veer. Hiermee worden drie starre lichaam bewegingen onderdrukt. De overige drie zijn onderdrukt door in de twee horizontale richtingen veren aan te brengen die een stijfheid bezitten gelijk aan 10% van de stijfheid in verticale richting. Op deze wijze wordt een regulier systeem verkregen zonder gebruik te maken van massa matrix die in dit geval aanleiding zal geven tot een zeer groot stelsel vergelijkingen omdat de toegevoegde massa van het omringende water in de berekening is opgenomen. De toegevoegde massa van het water is berekend middels een “boundary element methode” beschikbaar in Trident. De natte huid wordt in eerste instantie beschreven met elementen met dezelfde grootte als de structurele elementen. Berekend worden de massa en alle koppeltermen als gevolg van bewegingen van de panelen. De “added mass matrix” is een volle matrix, dat wil zeggen dat elke natte knoop verbonden is met alle enere natte knopen. Oplossen van het complete stelsel blijkt op geheugen problemen te stuiten. In principe is een beschrijving van het natte oppervlak met gelijke elementen als die gebruikt voor de constructie niet noodzakelijk indien lokale vervormingen van de huid bij de berekende trilvormen geen rol speelt. Voor de gezochte globale trilvormen is de eigenfrequentie orden lager dan de lokale trilvormen van verstijfde plaatvelden. De verdeling van de renelementen die het toegevoegde massa probleem beschrijven is grover gemaakt. De knopen van de renelementen vallen nu samen met de posities van de webframes in het schip. Hiermee is de vloeistof mesh gereduceerd van 12419 elementen naar 1078 (figuur 24).



Figuur 6-1 Element verdeling in berekening toegevoegde massa

De vraag is echter wel of the toegevoegde massa hierdoor niet sterk verenert. Ter controle is de toegevoegde massa berekend onder starre lichaamsbewegingen. TNO heeft een code (FAMM) ontwikkeld die de toegevoegde massa berekent volgens

dezelfde theorie als gebruikt binnen Trident. Verschillen in implementatie kunnen aanleiding zijn tot verschillen in de oplossing.

De methode in Trident en FAMM berekenen de toegevoegde massa voor het limiet geval van oneindig hoge frequentie. In de meeste gevallen is bij de frequentie van de trilvorm nagenoeg voldaan aan dit limietgeval. Op basis van de eigenfrequentie zonder toegevoegde massa wordt de laagste eigenfrequentie geschat op 1 Hz. Mogelijk dat voor deze frequentie de toegevoegde massa nog niet is geconvergeerd naar de limiet oplossing.

Tabel 5 Toegevoegde massa water in ton

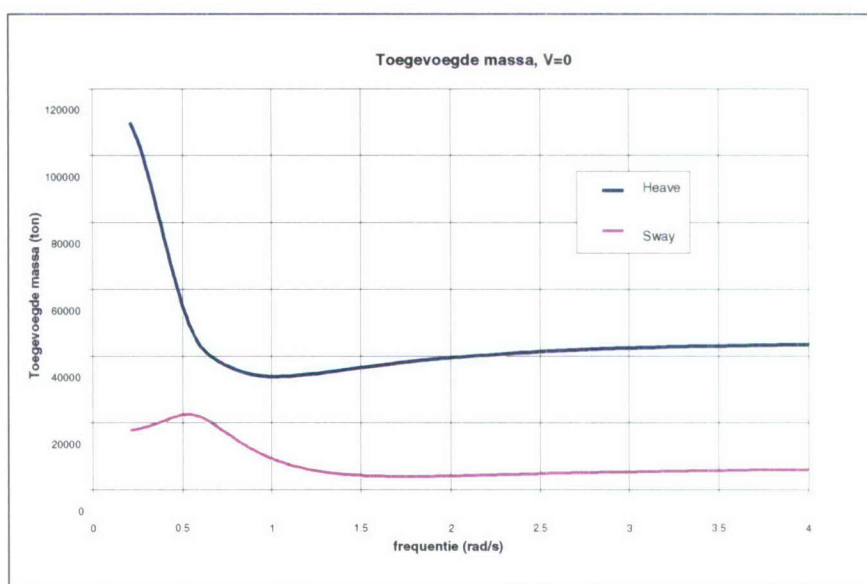
	Trident <sup>7</sup>	FAMM	FAMM	PRECAL 0.6 Hz
# panelen	1078	1078	12419	10000
T-x	380	349	339	351
T-y	43710	43515	44091	43210
T-z	7767	7505	7361	5742

Dit is onderzocht met het programma PRECAL dat op basis van een panelen verdeling de toegevoegde massa en damping berekent als functie van de frequentie (PRECAL is een programmapakket voor berekenen van scheepsbewegingen en belastingen in zeegang). Uit tabel 5 volgt dat de grove mesh gelijke resultaten levert als de fijne mesh. Ook blijkt uit de tabel dat de limiet oplossing berekend door Trident en FAMM goed overeenkomt met de door PRECAL berekende waarde bij 0.6 Hz. Uit het verloop van de toegevoegde massa als functie van de oscillatiefrequentie, figuur 25, blijkt dat bij lagere frequentie dan de 0.6 Hz de PRECAL oplossing reeds convergeert naar de limiet oplossing. Het verschil in toegevoegd massa in dwarsscheepse richting wordt veroorzaakt door de scheg welke in het PRECAL model niet is opgenomen.

De conclusie is dat de berekening met de grove mesh voor de toegevoegde massa de invloed van deze massa voldoende nauwkeurig omschrijft en dat de naar verhouding eenvoudige limietoplossing voldoet.

<sup>7</sup> Een oplossing met 12419 panelen kon niet worden bepaald met Trident.





Figuur 6-2 Verloop toegevoegde massa voor dompen en verzetten als functie van de excitatiefrequentie (rad/s)

Tabel 6 geeft de resultaten van de berekeningen. De eigenfrequenties zijn berekend met en zonder toegevoegde massa van het water. Zover mogelijk zijn de “droge” modes gekoppeld aan de “natte” modes.

De eerste 6 modes zijn starre lichaam modes waarbij het schip niet vervormt maar als een star lichaam op de veren trilt. De eerste 3 modes geven de eigenfrequentie voor de trillingen op de veren waarvan de veerstijfheid gelijk is aan 10% van de veerstijfheid in verticale richting. De eigenfrequentie van deze 3 modes is ~0.06 Hz. Aangetoond kan worden dat deze kunstmatige stijfheid, het water levert geen stijfheid in horizontale richtingen, een verwaarloosbare invloed heeft op de eigenfrequenties als gevolg van vervormen van het schip. Mode 4, 5 en 6 beschrijven de starre lichaamsbewegingen waarbij de verticale veerstijfheid als gevolg van de hydrostatische veer bepalend is. De trilvormen beschrijven stampen, dompen en slingeren. De frequenties komen niet overeen met die berekend met hydrodynamische methoden berekeningen omdat de toegevoegde massa bij deze frequenties sterk afwijkt van de toegevoegde massa in het rekenmodel.

Figuur 26 geeft de trilmodes 7-20 inclusief toegevoegde massa van het water. De eerste twee buigmodes, modes 7 en 8, laten zien dat het schip als een balk vervormt: er is geen of zeer weinig lokale vervorming van de dekken. Bij de 3-knoop verticale trilvorm is er sprake van een aanzienlijk lokale vervorming van het dek. Zowel het E-dek voor als het helidek vervormen lokaal indien deze globale trilvorm wordt aangestoten. De 4-knoop verticale trilvorm, mode 11, laat zien dat de lokale vervorming groter is dan de globale trilvorm.

Naast de eis dat de eigenfrequenties niet zullen samenvallen met as en bladfrequenties. Vraagt het bestek van het JSS dat de eigenfrequenties behorende bij de lokale dektrilvormen hoger zijn dan de hoogste van de 4-knoop verticale trilvorm en de 1-knoop torsie trilvorm maal 1.15 factor. Deze eis is gesteld om bij impact belastingen geen grote opslingering te krijgen in de dekken. Het schip wordt bij impact (slamming) voornamelijk in de 2-knoop en 3-knoop trilvorm aangeslagen.

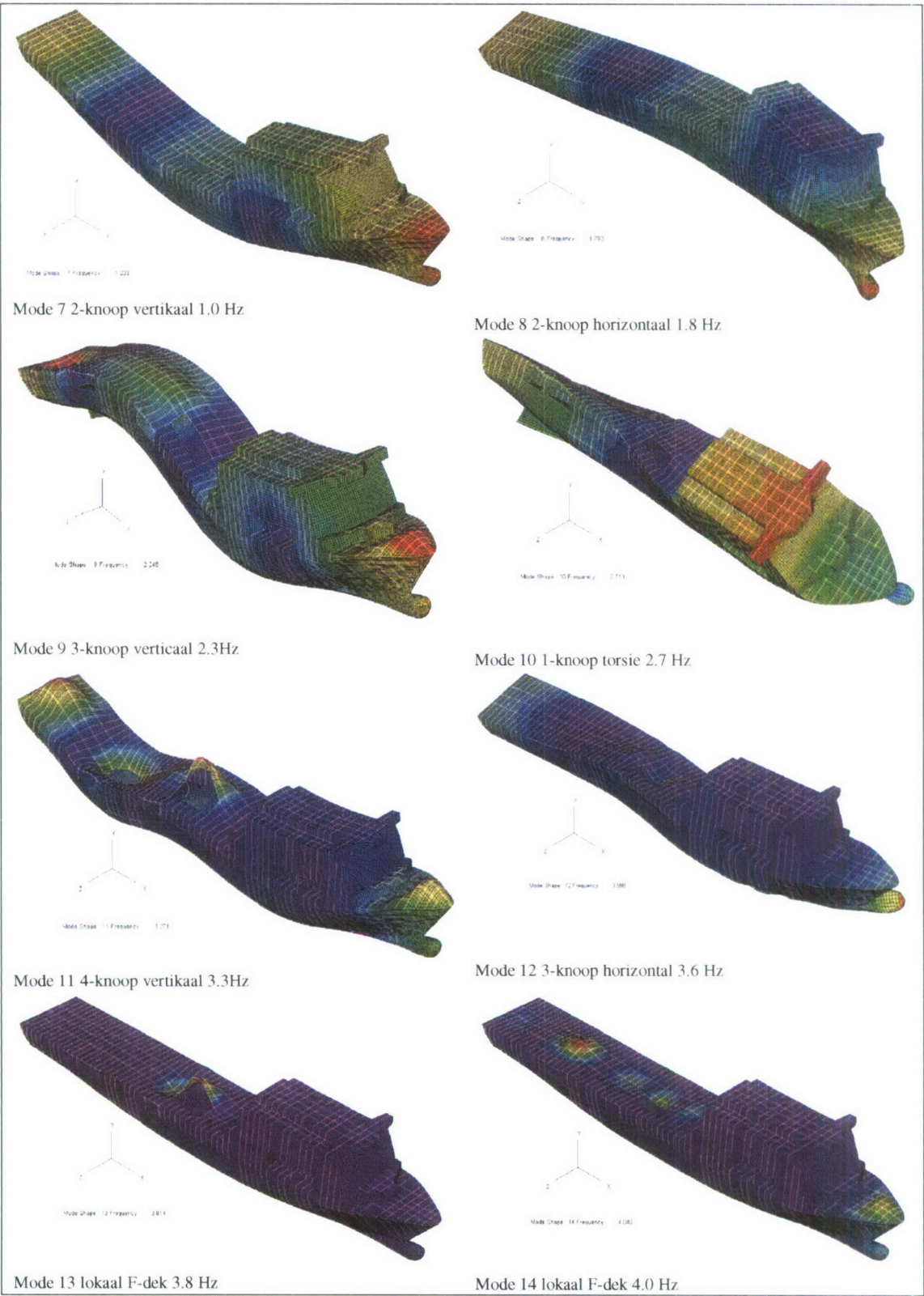
Op basis van deze berekening is niet eenvoudig aan te geven of de dekken voldoen aan deze eis. De gewichtsverdeling is aangebracht op de romp van het model. Hierbij is



mogelijk te veel massa toegekend aan de dekken. De eigenfrequentie van de dekken moet apart berekend worden met de ontwerp massaverdeling op de dekken ter controle van de bestekseis.

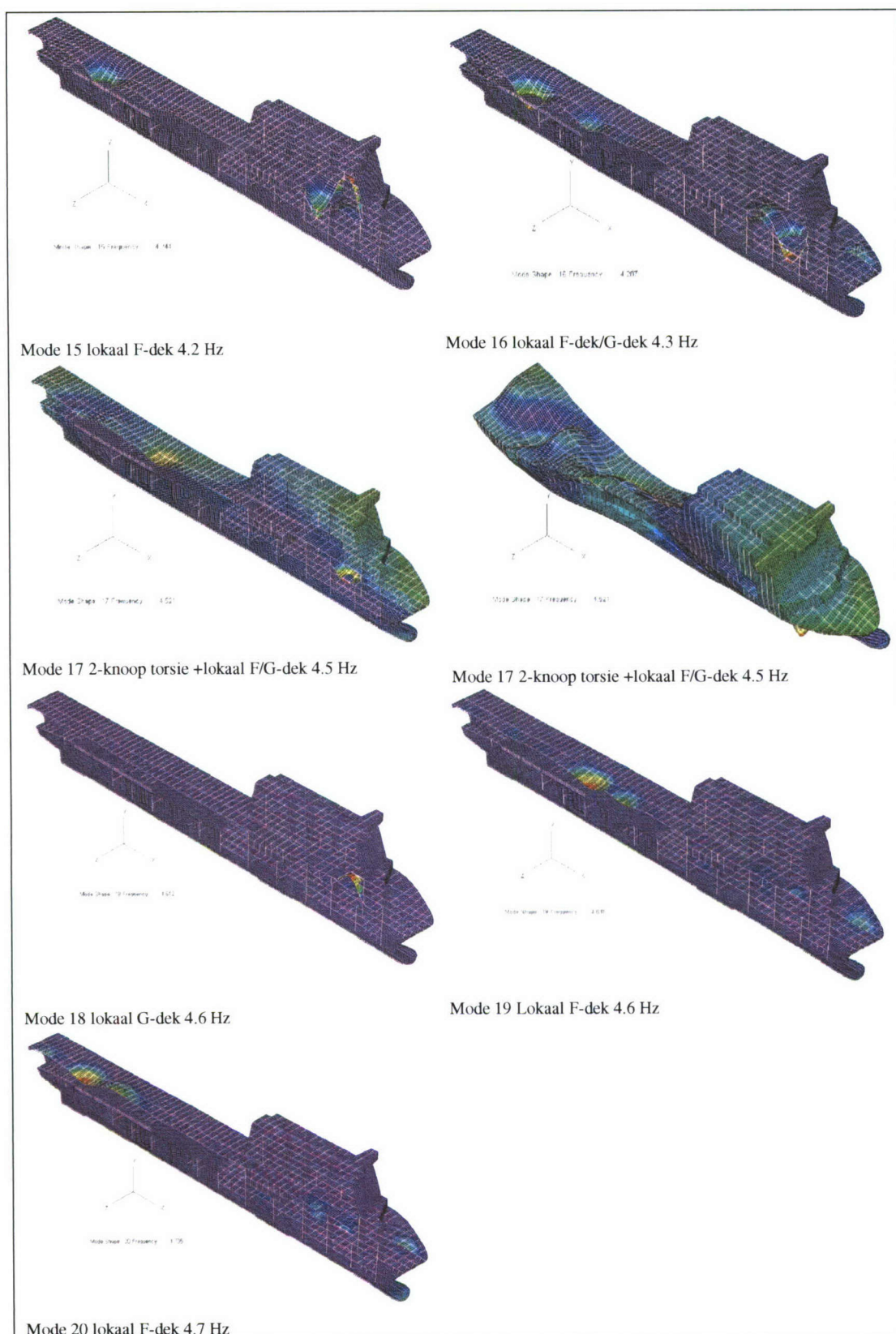
Tabel 6 Eigenfrequenties JSS bij T=7.6m en belading "replenishment departure"

Eigenwaarde	Eigenfrequentie inclusief toegevoegde massa (Hz)	Eigenfrequentie zonder toegevoegde massa (Hz)	Omschrijving
1	0.05	0.06	star lichaam
2	0.06	0.07	star lichaam
3	0.06	0.07	star lichaam
4	0.13	0.15	star lichaam
5	0.14	0.20	star lichaam
6	0.14	0.22	star lichaam
7	1.03	1.44	2 knoop vertikaal
8	1.79	2.04	2 knoop horizontaal
9	2.25	2.97	1 knoop torsie
10	2.71	3.25	3 knoop vertikaal
11	3.27	Niet gevonden	4 knoop vertikaal
12	3.60	4.27	3 knoop horizontaal
13	3.81	3.80	lokaal dek
14	4.04	4.03	lokaal dek
15	4.24	4.25	lokaal dek
16	4.29	Niet gevonden	lokaal dek
17	4.52	Niet gevonden	2 knoop torsie
18	4.61	4.58	lokaal dek
19	4.63	4.61	lokaal dek
20	4.73	4.71	lokaal dek



Figuur 6-3 Trilvormen 7-20 JSS met toegevoegde massa van het water





Figuur 7 vervolg Trilvormen 7-20 JSS met toegevoegde massa van het water

## 7 Conclusies

Uit vergelijking van het model met de gewichtsberekening volgt een verschil van 600 ton op 9868 ton, het staalgewicht volgens de gewichtsberekening van de KSG. Het model is hierbij lichter dan de berekening van KSG aangeeft. Voor een aantal secties zal een meer gedetailleerde opgave van de berekende gewichten nodig zijn om aan te geven of de gevonden verschillen gevolg zijn van vereenvoudigingen in de gewichtsberekening of omissies c.q. onjuistheden in het rekenmodel. Op zich is de 600 ton ten opzichte van de 26000 ton waterverplaatsing niet erg groot, maar de geconstateerde verschuivingen van het zwaartepunt kunnen voor het ontwerp van belang zijn.

De grote verstoringen en overgangen in de constructie van het schip hebben voornamelijk invloed op de levensduur. De optredende spanningen zijn kleiner dan volgens DNV toelaatbaar is. Op een aantal plaatsen in de constructie is de berekende spanning echter hoger dan toelaatbaar met het oog op vermoeiing, bijvoorbeeld in de hoekpunten van de openingen in het dek en aan de einden van de bovenbouw. Op deze locaties moeten in de constructies afrondingen en dikkere platen worden toegepast om de spanningsconcentratie te reduceren en zo de gewenste levensduur te bereiken. Deze detaillering van de constructie zou in een later stadium aan de hen van dit model verder onderzocht moeten worden. Globaal gesproken voldoen het casco aan de eisen van de gewenste levensduur indien ongunstige combinaties van lassen en lokale verstoringen worden vermeden. In het gebied tussen spant 90 en 140 zal de constructie met zorg moeten worden gedetailleerd. Buiten dit gebied zijn de optredende spanningen zo laag dat een klasse  $K=25$  lasdetail toelaatbaar is. In het gebied van spant 90 tot spant 140 zal de weersten tegen vermoeiing hoger moeten zijn en bij voorkeur gelijk aan  $K=40$  MPa.

Het bestek vraagt dat de eigenfrequenties van de dekken groter is dan 1.15 maal hoogste van de 1-knoops torsiemode en de 4-knoops verticale buigmode. De berekende eigenfrequenties trillend in water geeft aan dat de eigenfrequenties van de dekken dus hoger moeten zijn dan 3.8 Hz. Opgemerkt wordt dat bij berekenen van de eigenfrequenties van dekken gerekend moet worden met een schatting van de daadwerkelijke belasting en niet met de ontwerpbelasting op het dek om een zo realistisch mogelijke schatting van de eigenfrequenties te krijgen.



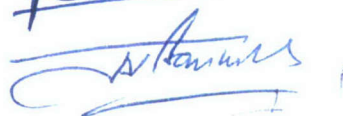


## 8 Ondertekening

Auteur: Ir. T.N. Bosman



Approved: Ir. J.E. van Aanhold



Visa: Ir. W. Trouwborst





A      Eigenschappen Model JSS

**Lijst van Figuren**

Figuur 1 Achterschip plaatdikte .....	77
Figuur 2 Achterschip plaatdikte .....	78
Figuur 3 Achterschip plaatdikte .....	79
Figuur 4 Huid plaatdikte .....	80
Figuur 5 Huid verstijverhoogte .....	81
Figuur 6 Huid webframehoogte .....	82
Figuur 7 Dwarsschotten en tanks, plaatdikte .....	83
Figuur 8 Dwarsschotten en tanks, verstijverhoogte .....	84
Figuur 9 Dwarsschotten webframehoogte .....	85
Figuur 10 Kofferdam plaatdikte .....	86
Figuur 11 Kofferdam verstijverhoogte .....	87
Figuur 12 Kofferdam webframehoogte .....	88
Figuur 13 Dubbele bodem plaatdikte .....	89
Figuur 14 Dubbele bodem verstijverhoogte .....	90
Figuur 15 F-dek plaatdikte .....	91
Figuur 16 F-dek verstijverhoogte .....	92
Figuur 17 F-dek Webframehoogte .....	93
Figuur 18 J- en G-dek plaatdikte .....	94
Figuur 19 J- en G-dek verstijverhoogte .....	95
Figuur 20 J- en G-dek webframehoogte .....	96
Figuur 21 Langsschotten plaatdikte.....	97
Figuur 22 Langsschotten verstijverhoogte.....	98
Figuur 23 Langsschotten webframehoogte.....	99
Figuur 24 Ring frames plaatdikte .....	100
Figuur 25 Ring frames verstijverhoogte .....	101
Figuur 26 Skeg plaatdikte en verstijver dimension.....	102
Figuur 27 Tanktop en dubbele huid plaatdikte .....	103
Figuur 28 Tanktop en dubbele Huid verstijverhoogte .....	104
Figuur 29 Overzicht plaatdikte.....	105
Figuur 30 Overzicht, plaatdikte.....	106
Figuur 31 Huid, plaatdikte .....	107
Figuur 32 Huid, verstijverhoogte .....	108



Figuur 33 Huid, webframehoogte .....	109
Figuur 34 Tanktop, plaatdikte .....	110
Figuur 35 Tanktop, verstijverhoogte .....	110
Figuur 36 Dubbele bodem, plaatdikte .....	111
Figuur 37 Dubbele bodem, verstijverhoogte .....	112
Figuur 38 K-dek, plaatdikte .....	113
Figuur 39 K-dek, verstijverhoogte .....	114
Figuur 40 K-dek, webframehoogte.....	115
Figuur 41 J-dek, plaatdikte.....	116
Figuur 42 J-dek, verstijver heigt.....	116
Figuur 43 J-dek, webframehoogte.....	118
Figuur 44 H-dek, plaatdikte .....	118
Figuur 45 H-dek, verstijverhoogte .....	118
Figuur 46 H-dek, webframehoogte.....	119
Figuur 47 G-dek, plaatdikte .....	120
Figuur 48 G-dek, verstijverhoogte .....	120
Figuur 49 G-dek, webframehoogte.....	121
Figuur 50 F-dek, plaatdikte .....	122
Figuur 51 F-dek, verstijverhoogte .....	122
Figuur 52 F-dek, webframehoogte .....	123
Figuur 53 E & D-dek, plaatdikte .....	124
Figuur 54 E & D-dek, verstijverhoogte .....	124
Figuur 55 E & D-dek, webframehoogte .....	125
Figuur 56 Kofferdam & tanks, plaatdikte.....	126
Figuur 57 Kofferdam & tanks, verstijverhoogte.....	127
Figuur 58 Dwarsschotten, plaatdikte .....	128
Figuur 59Dwarsschotten, verstijverhoogte .....	129
Figuur 60 Dwarsschotten, webframehoogte .....	130
Figuur 61 Langsschotten, plaatdikte.....	131
Figuur 62 Langsschotten, verstijverhoogte.....	132
Figuur 63 Langsschotten, webframehoogte.....	133
Figuur 64 DG-set foundations, plaatdikte .....	134
Figuur 65 Dubbele huid, plaatdikte .....	135
Figuur 66 Dubbele huid, verstijverhoogte .....	136
Figuur 67 Overzicht bovenbouw, plaatdikte.....	137
Figuur 68 Bovenbouw Huid, plaatdikte.....	138

Figuur 69 Bovenbouw Huid, verstijverhoogte.....	138
Figuur 70 Bovenbouw huid, webframehoogte.....	139
Figuur 71 Top Dek & D-dek, plaatdikte.....	140
Figuur 72 Top dek en D-dek, verstijverhoogte .....	140
Figuur 73 Top dek & D-dek, webframehoogte.....	141
Figuur 74 Bridge dek, plaatdikte .....	142
Figuur 75 Bridge dek, verstijverhoogte .....	142
Figuur 76 Bridge dek, webframehoogte .....	143
Figuur 77 A-dek, plaatdikte .....	144
Figuur 78 A-dek, verstijver en webframehoogte .....	144
Figuur 79 E & B-dek, plaatdikte .....	145
Figuur 80 E & B-dek, verstijverhoogte .....	145
Figuur 81 E & B-dek, webframehoogte .....	146
Figuur 82 C-dek, plaatdikte.....	147
Figuur 83 C-dek, verstijverhoogte.....	147
Figuur 84 C-dek, webframehoogte.....	148
Figuur 85 Langsschotten, plaatdikte.....	149
Figuur 86 Langsschotten, verstijverhoogte.....	149
Figuur 87 Langsschotten, webframehoogte.....	150
Figuur 88 Struts in bovenbouw .....	151





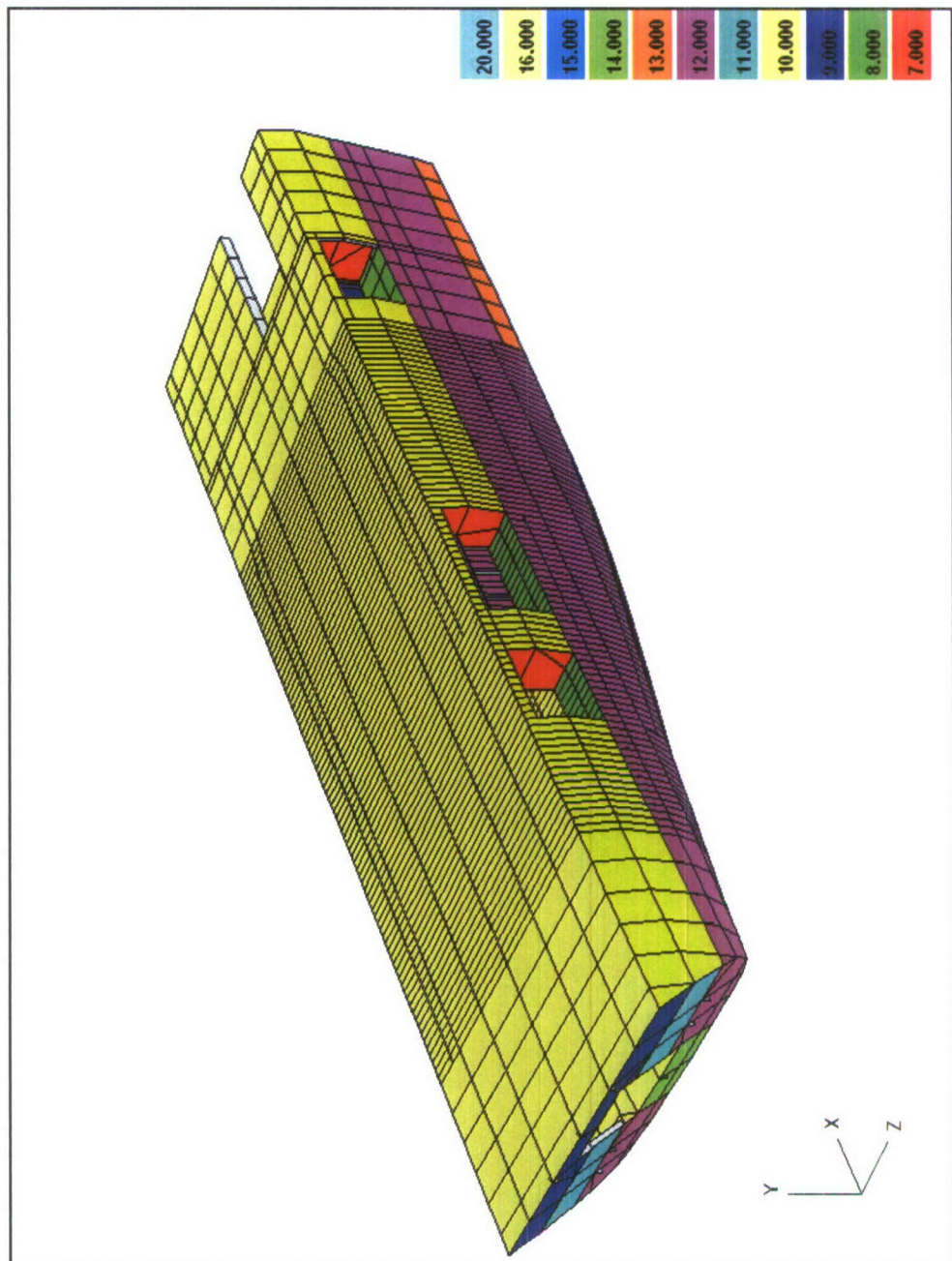
## Legenda

In de Figuren is een legenda opgenomen waarvan de ingeschreven waarde de volgende betekenis heeft. Voor plaatdikte is dit the dikte van de plaat. Indien de figuur de spanthoogte weergeeft is de ingeschreven waarde de totale hoogte van het profiel. Door afrondingsfouten komt het voor dat een HP160 profiel een hoogte krijgt van 160.03 mm. Van de meeste profielen is de afmeting juist iets kleiner: HP260\*11 krijgt de hoogte 258.98mm.

Voor de webframes en langsdragers wordt ook de totale hoogte weergegeven. In dit geval is de hoogte gelijk aan de hoogte van het webframe plus de dikte van de flens.

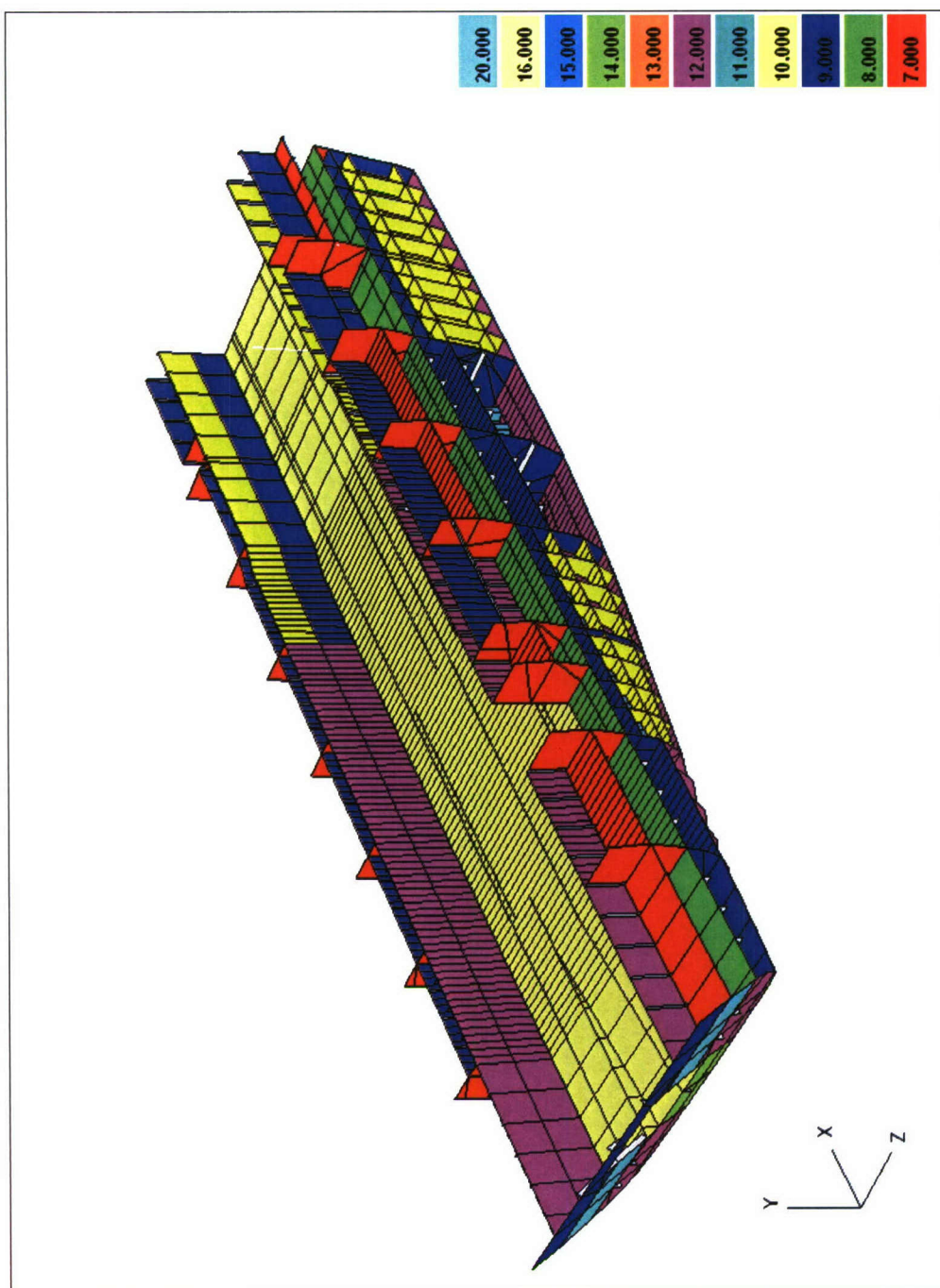


## A.1 Achterschip spant -15-140

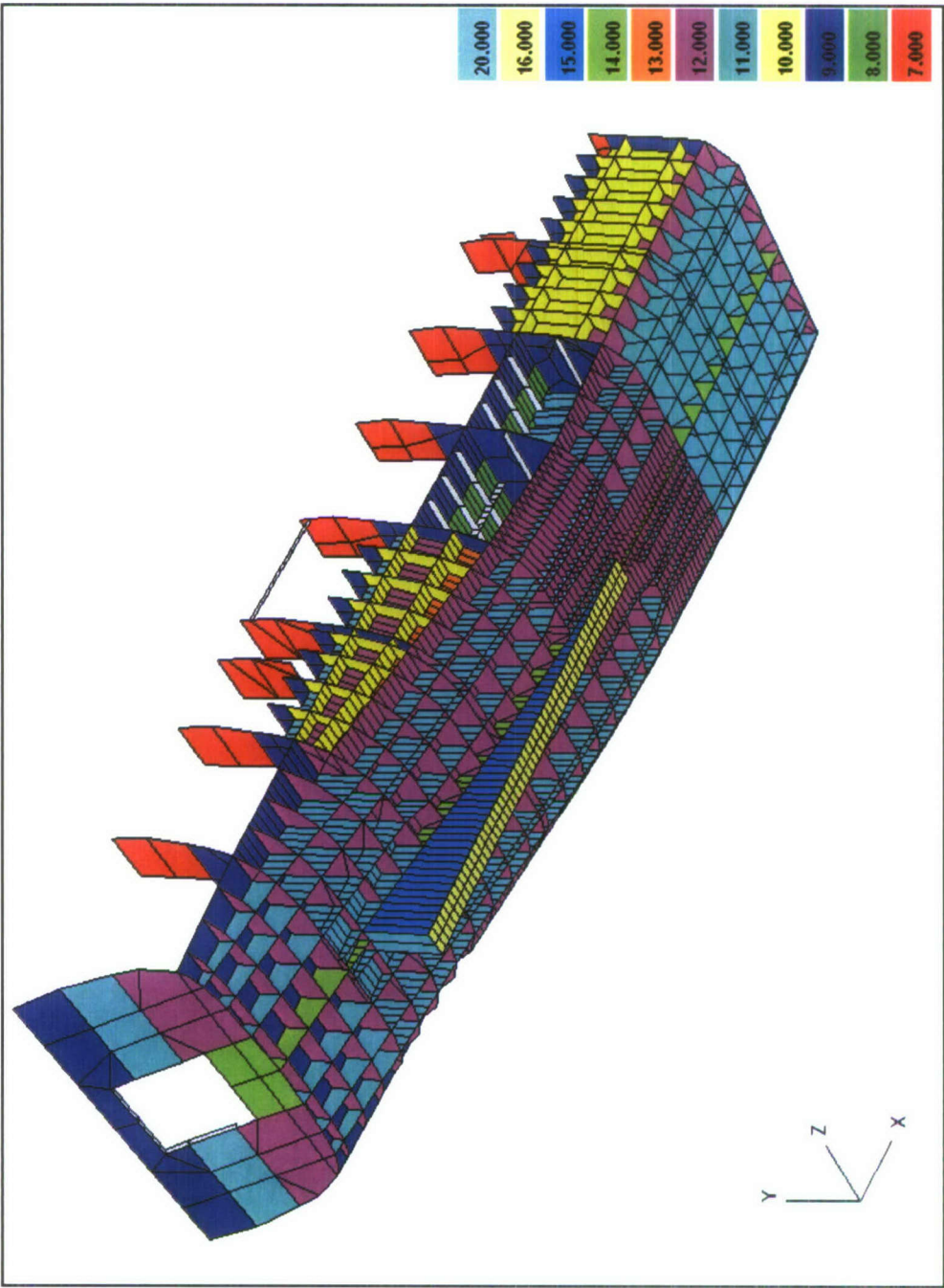


Figuur 1 Achterschip plaatdikte

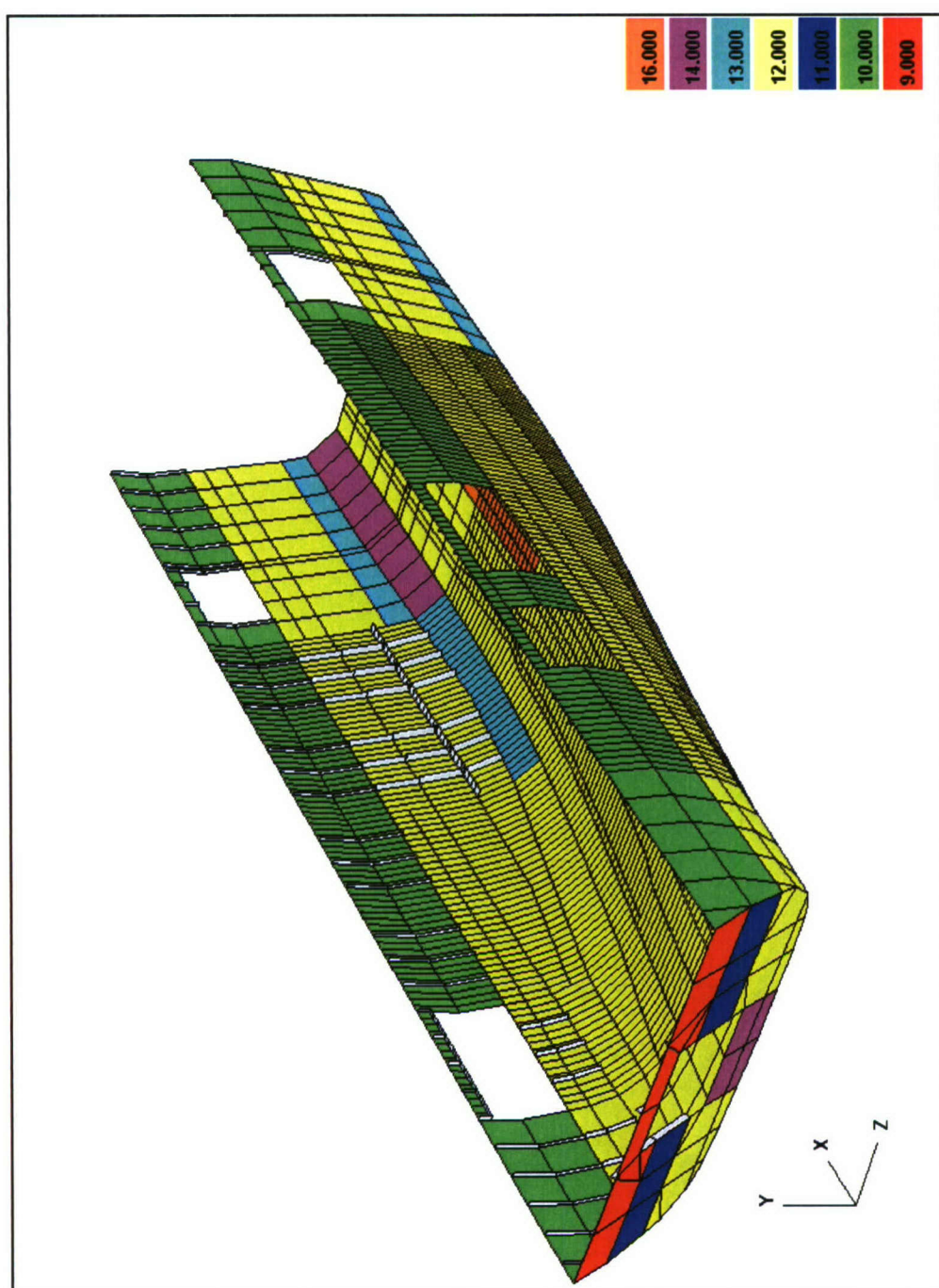




Figuur 2 Achteschip plaatdikte

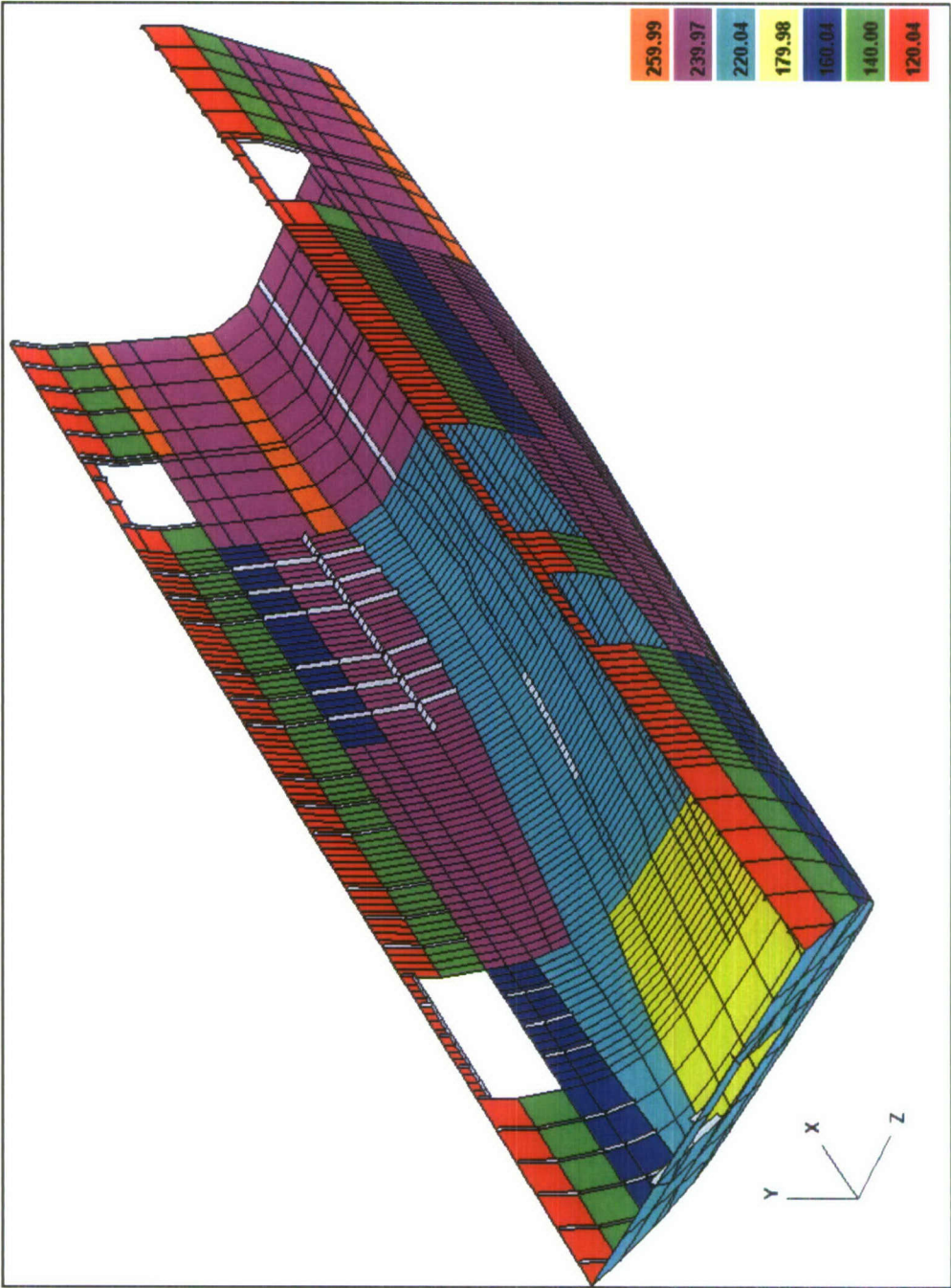


Figuur 3 Achterschip plaatdikte

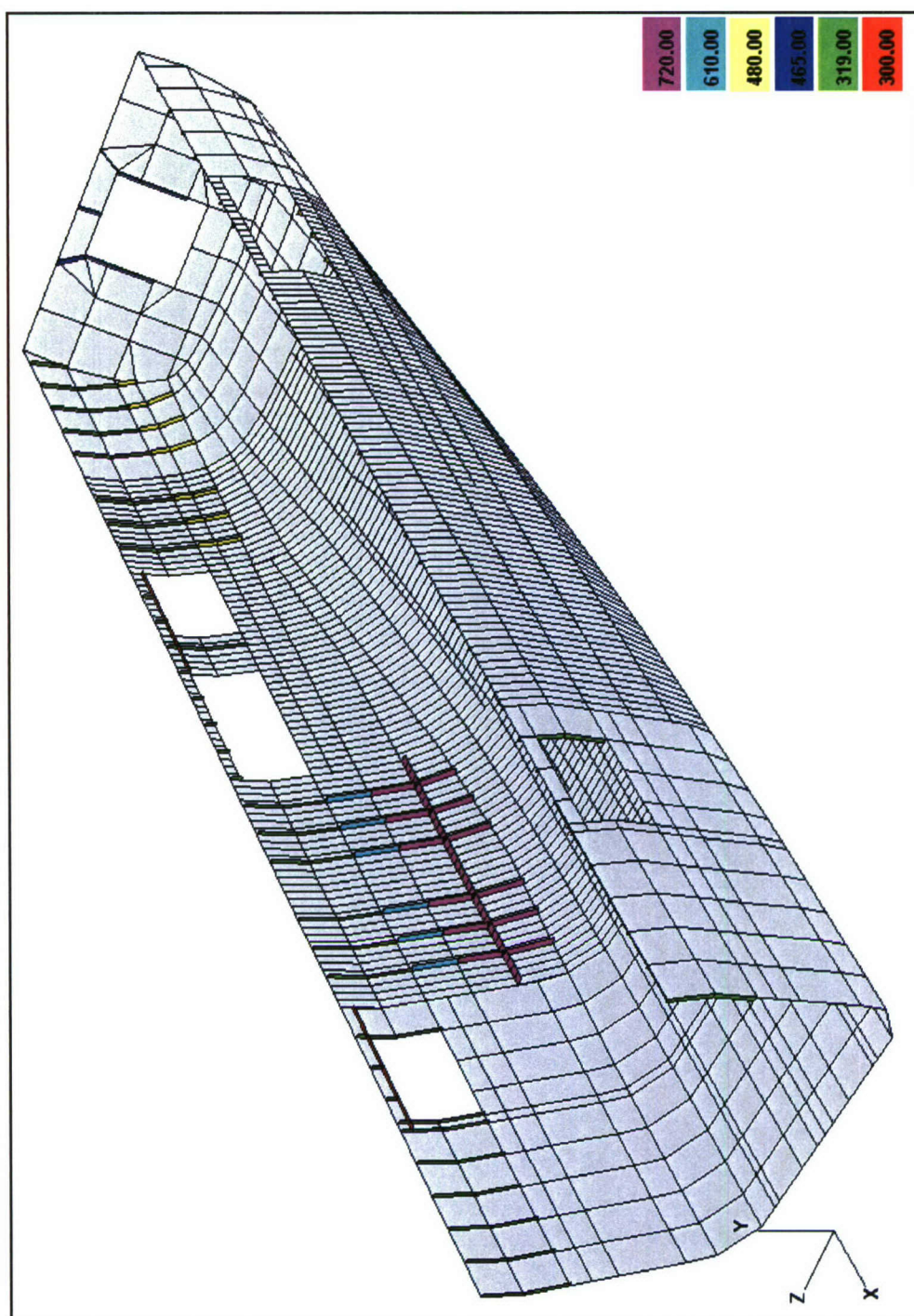


Figuur 4 Huid plaatdikte

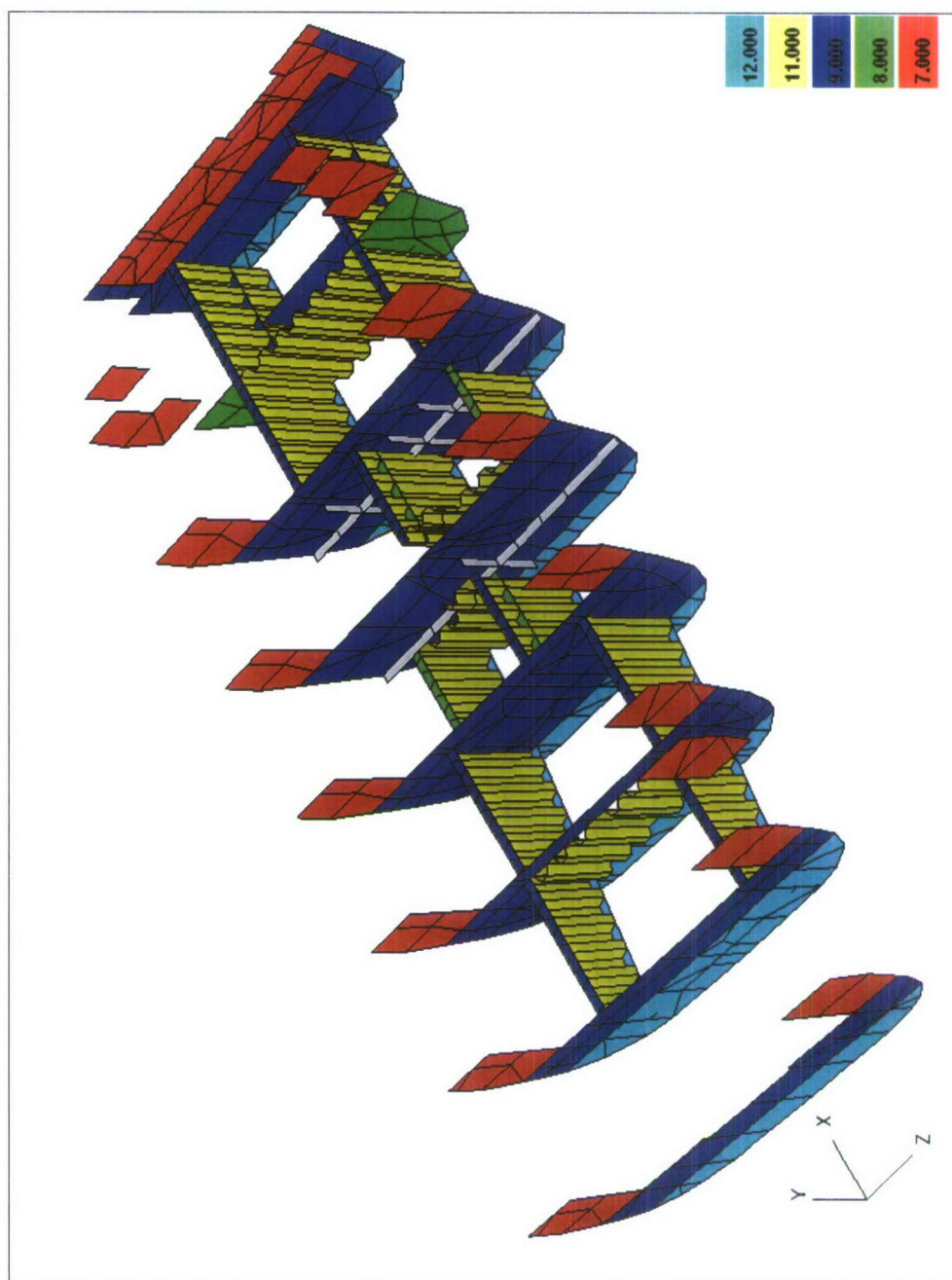




Figuur 5 Huid verstijverhoogte

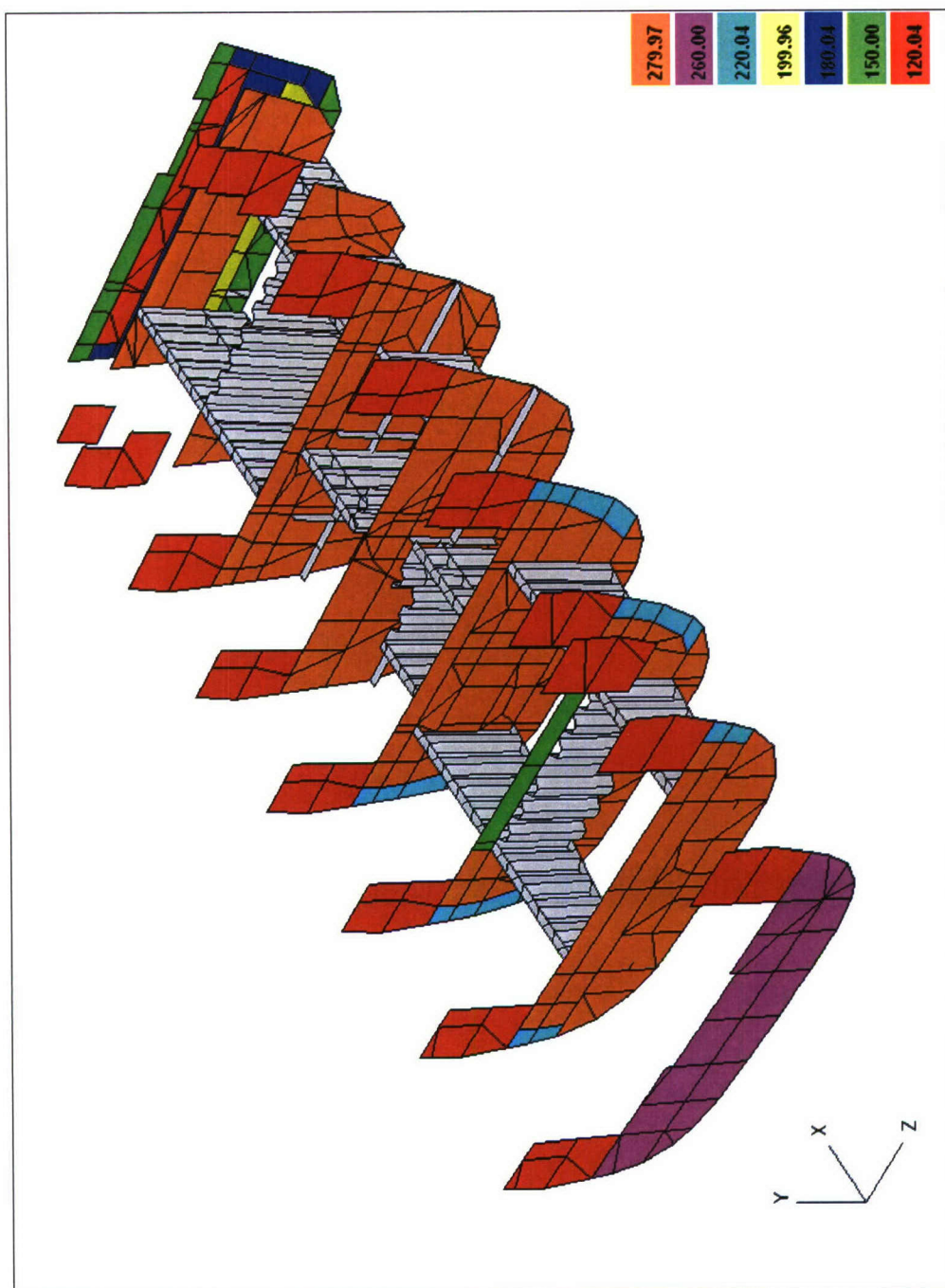


Figuur 6 Huid webframehoogte

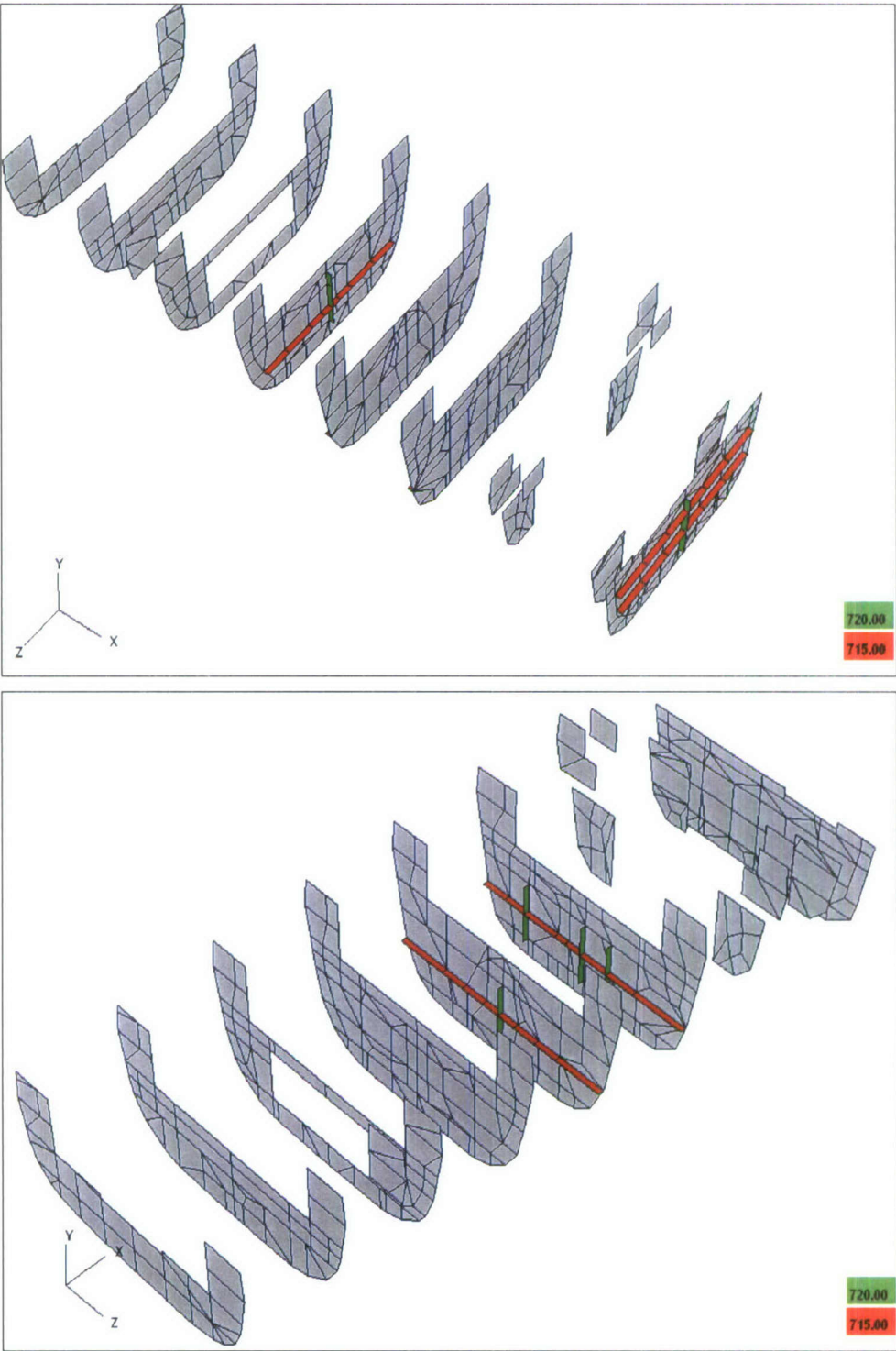


Figuur 7 Dwarsschotten en tanks, plaatdikte

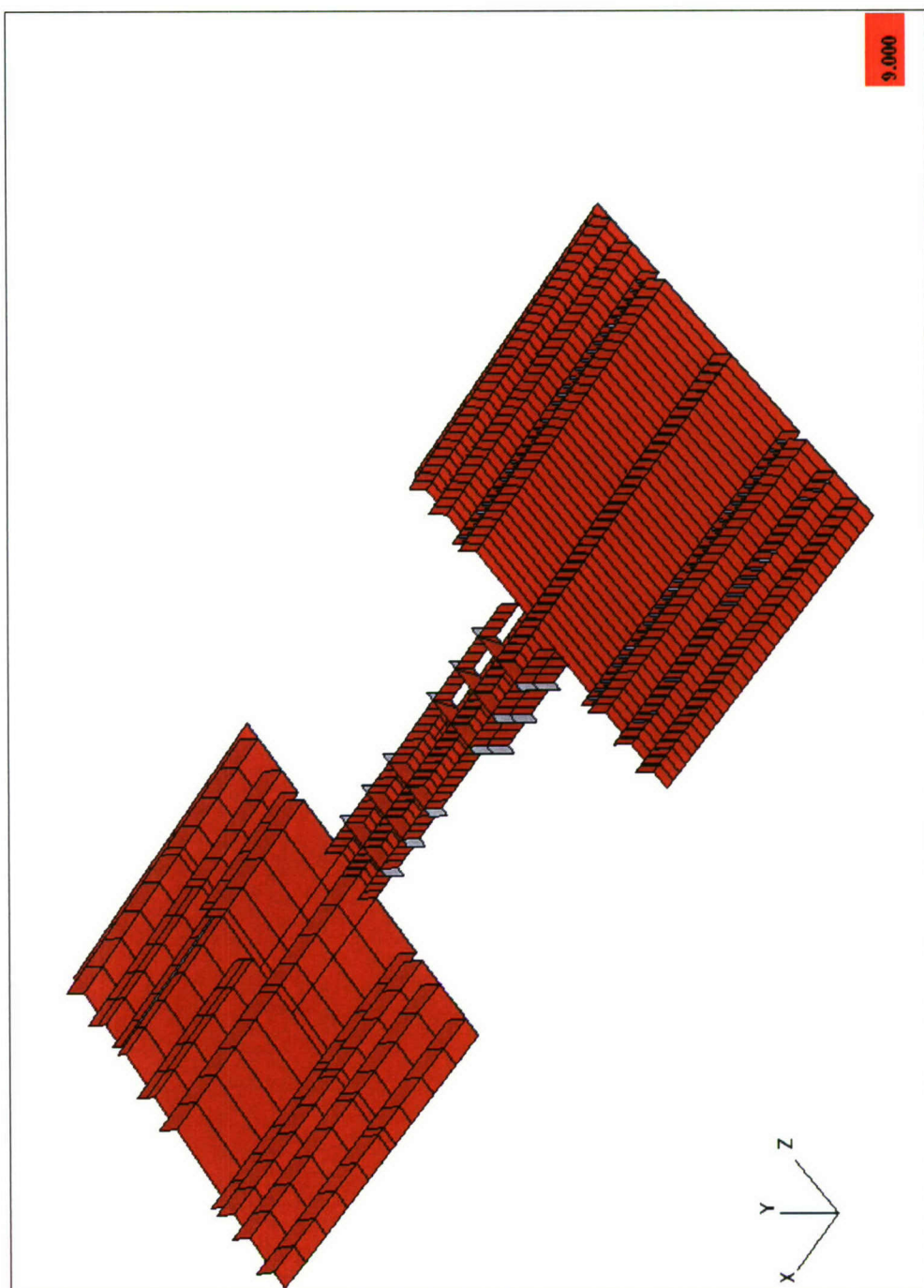




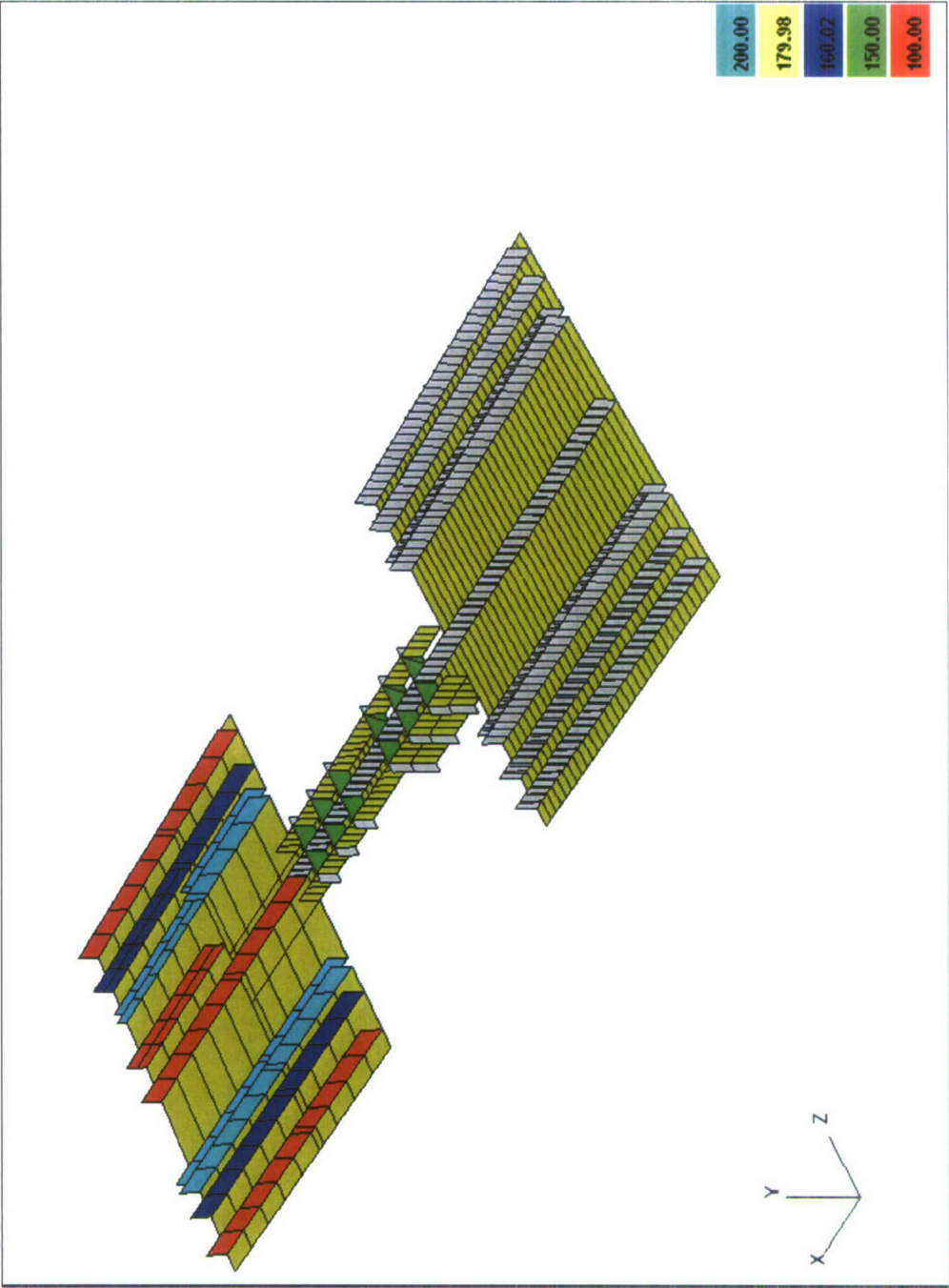
Figuur 8 Dwarsschotten en tanks, verstijverhoogte

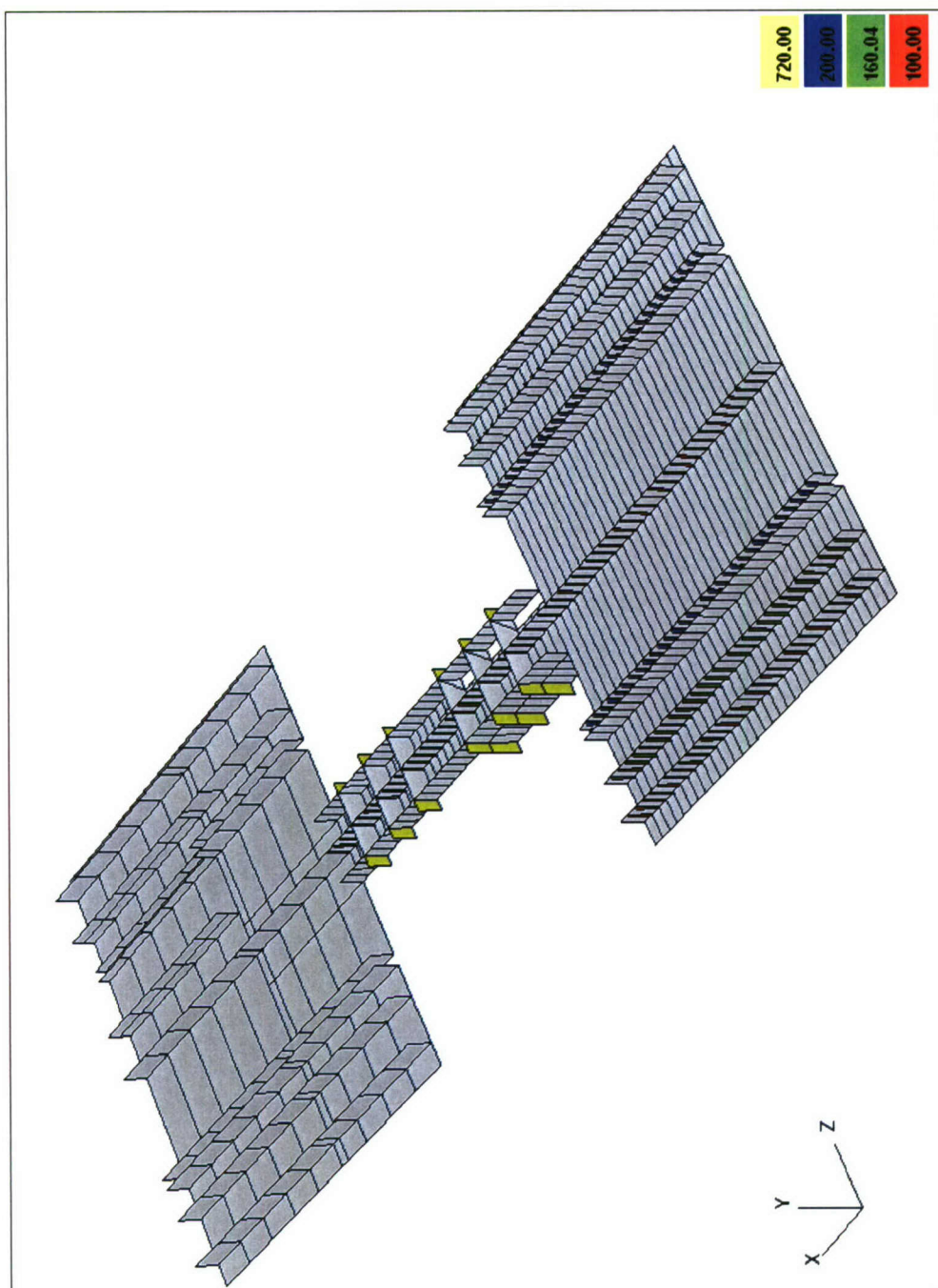


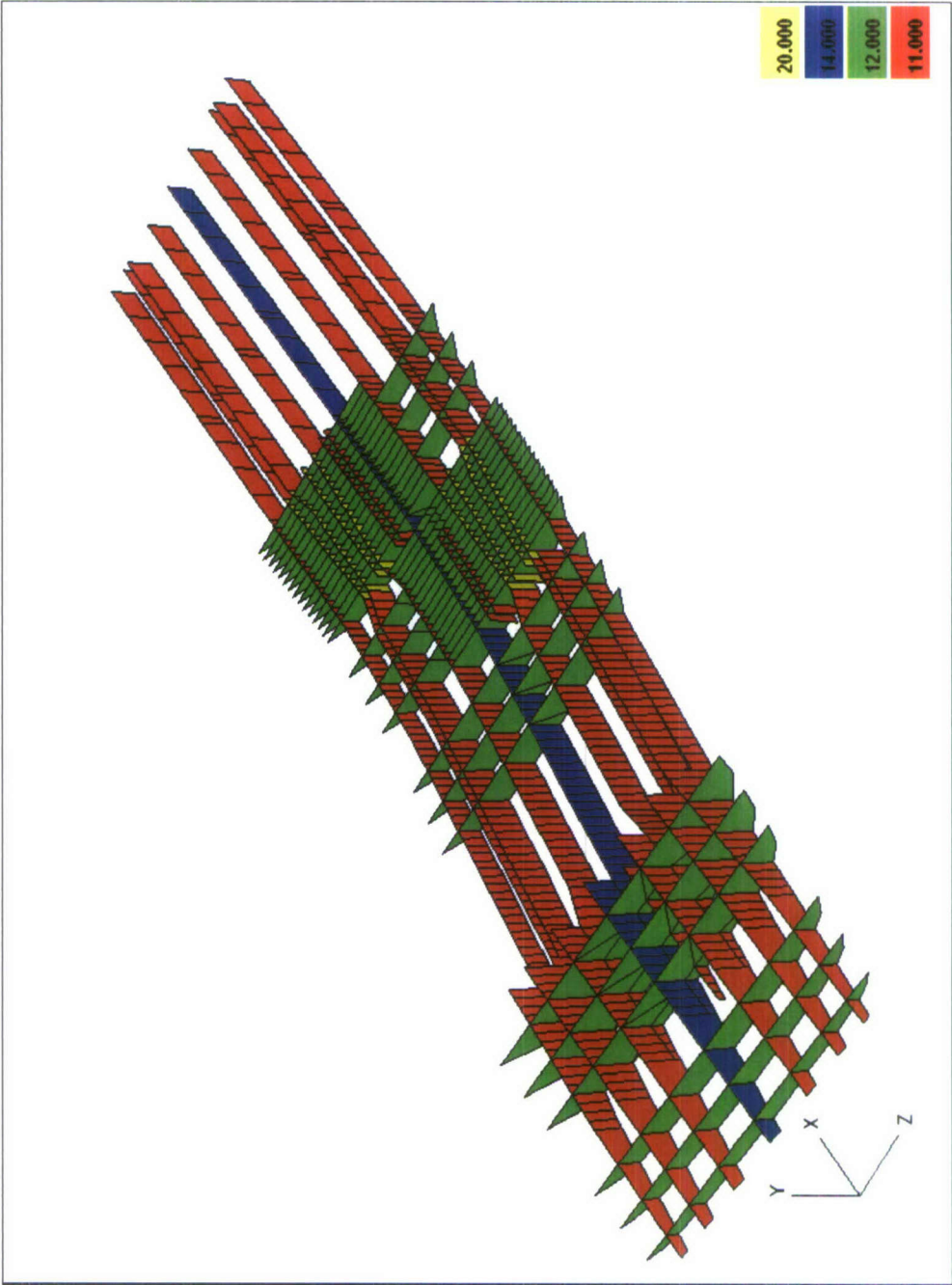
Figuur 9 Dwarsschotten webframehoogte



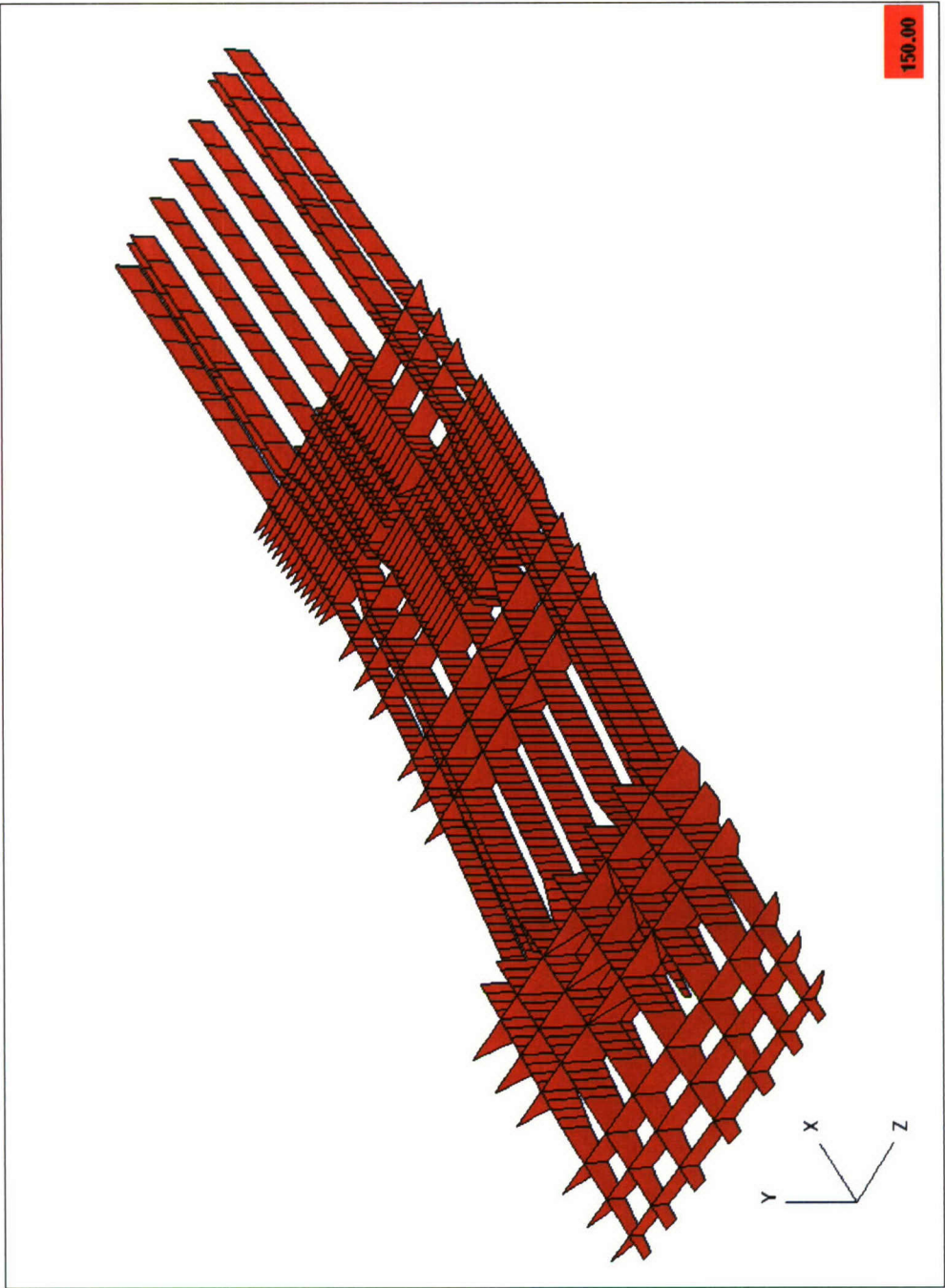


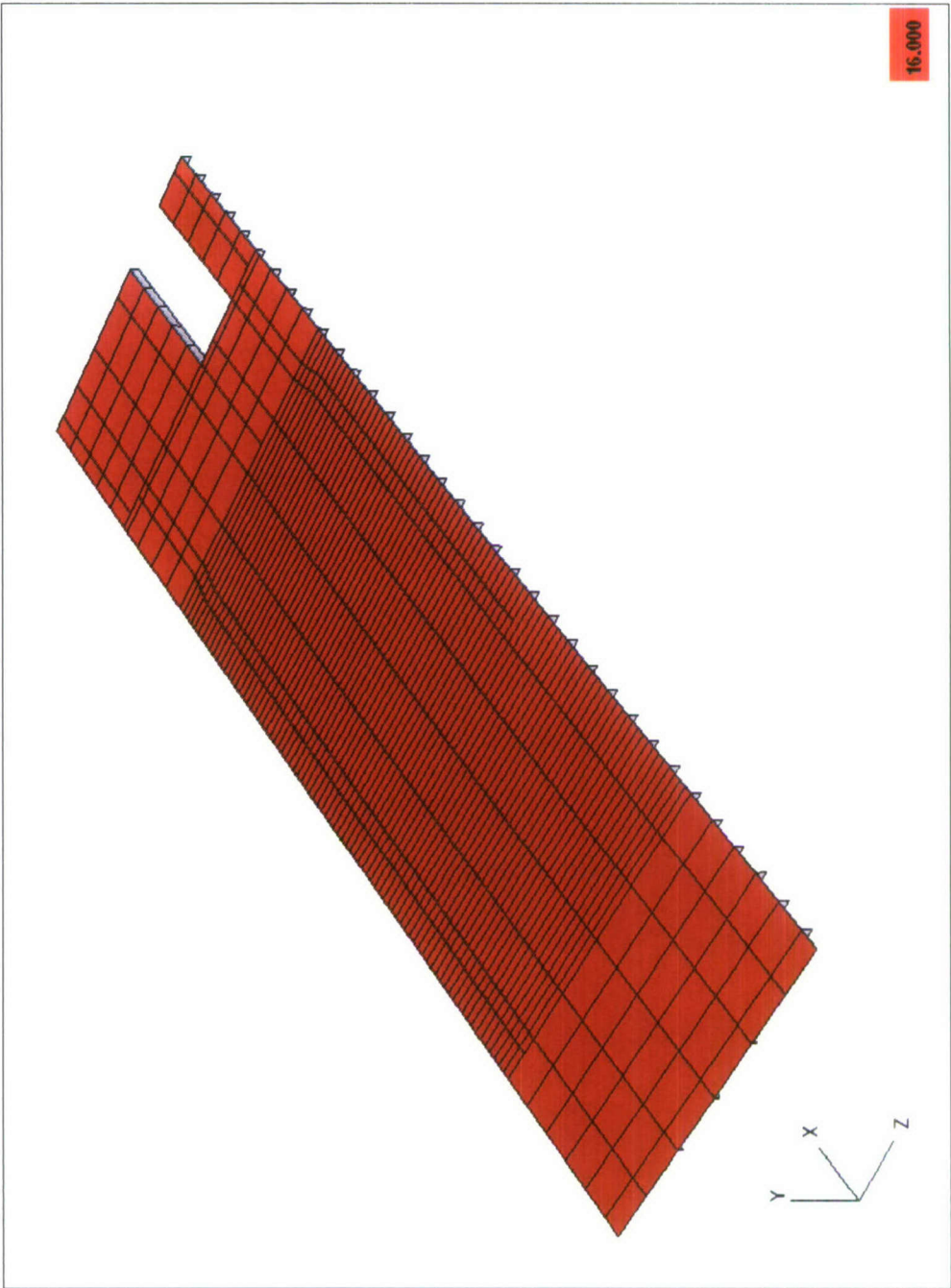


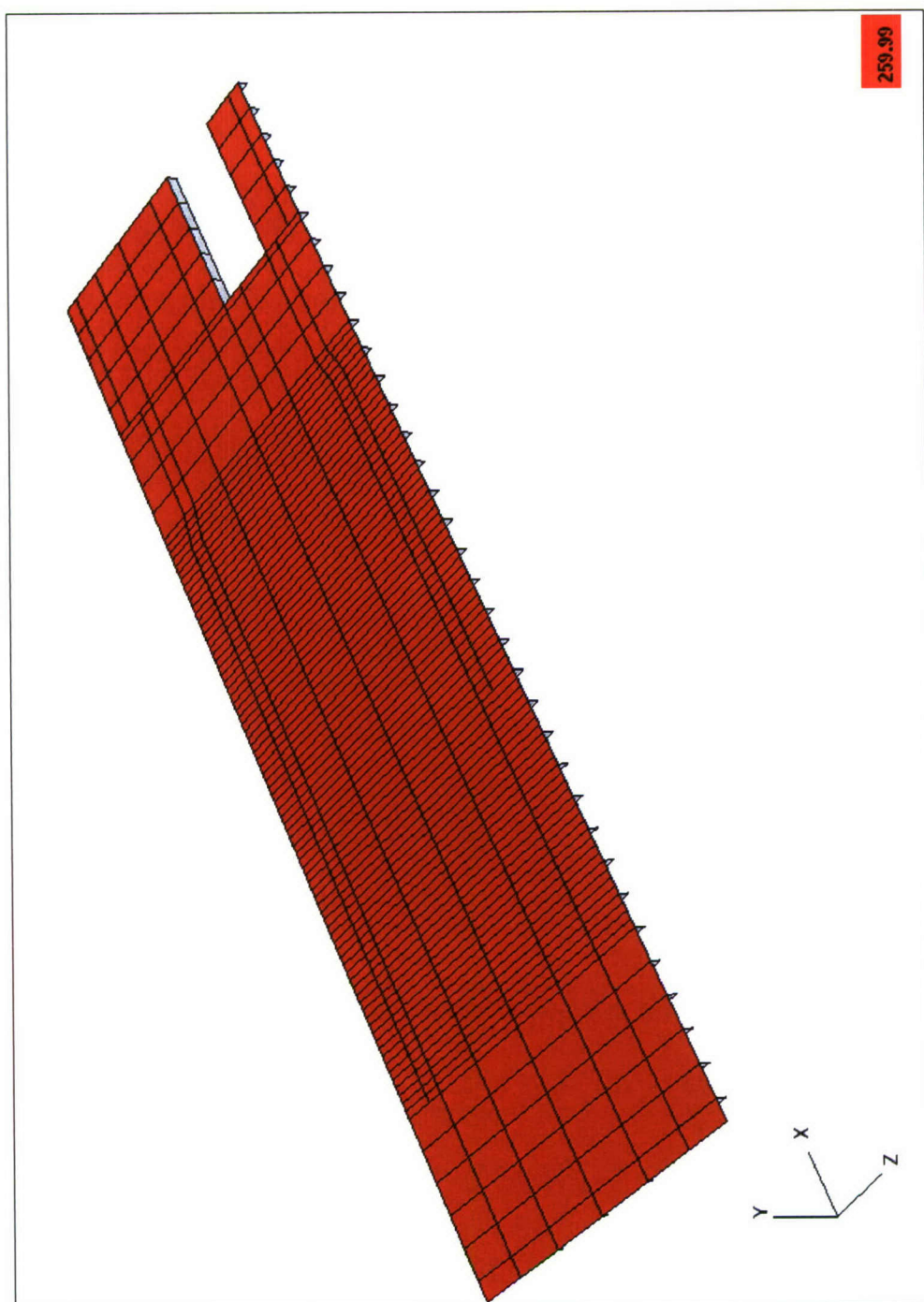




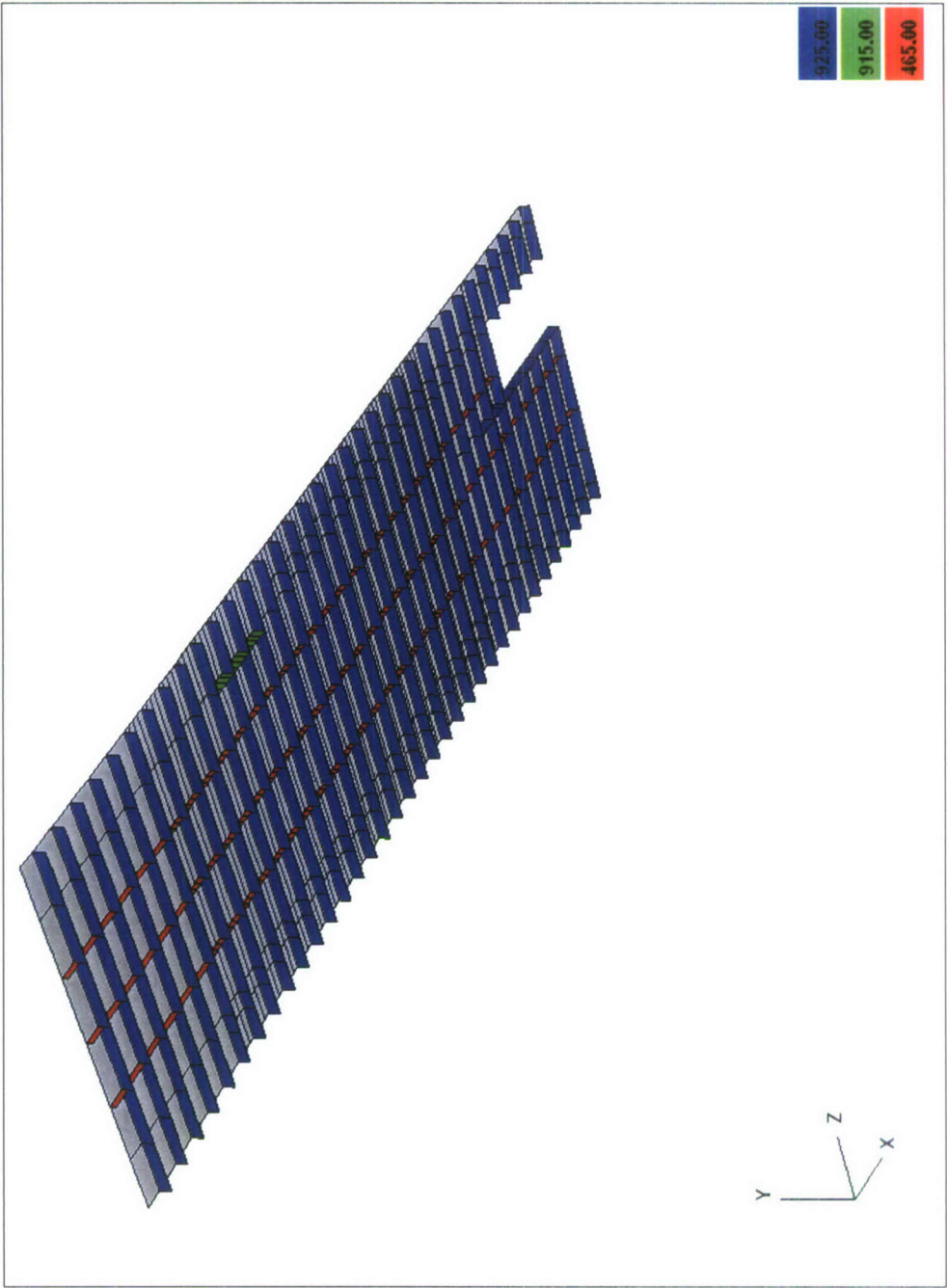


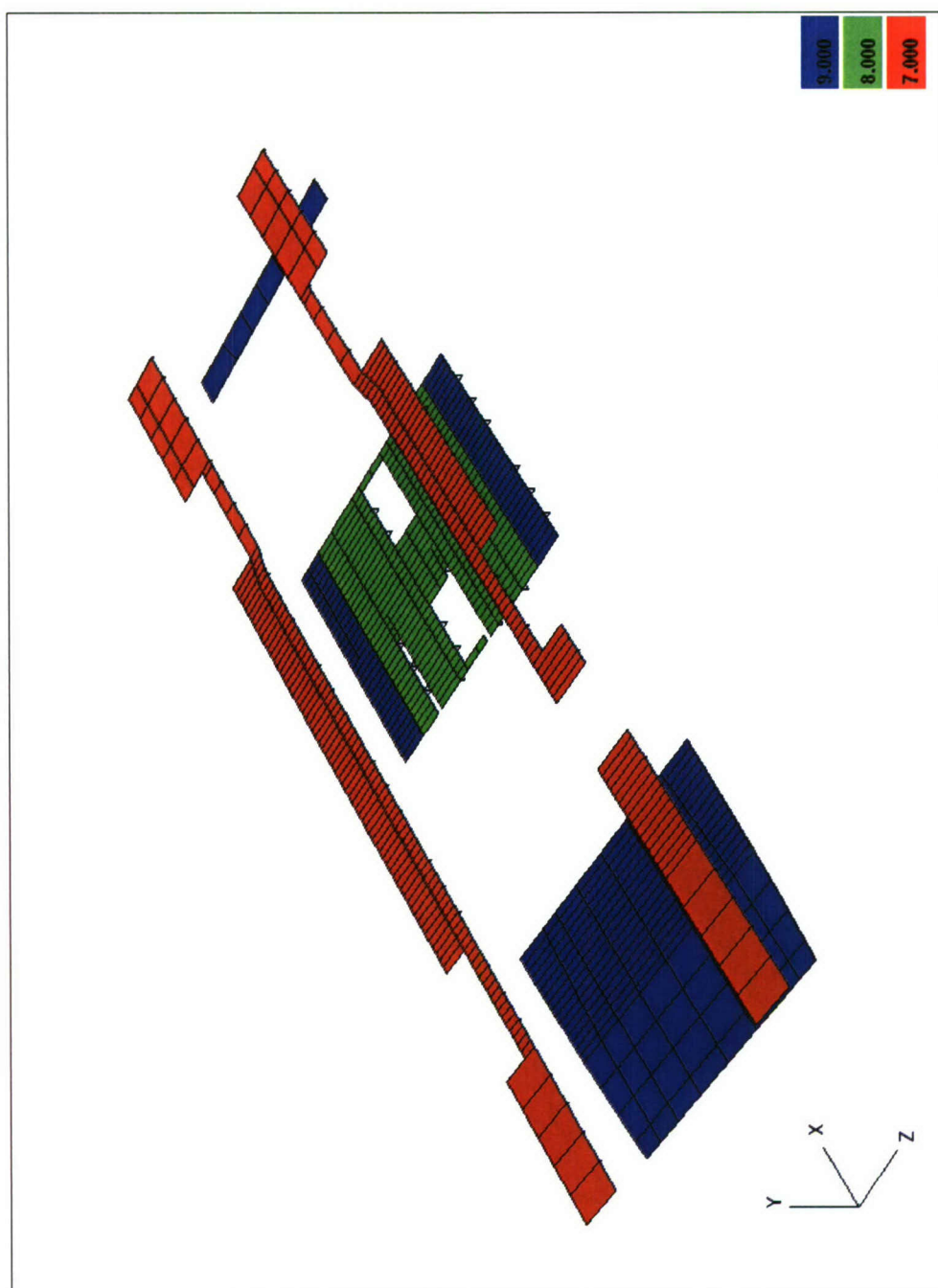


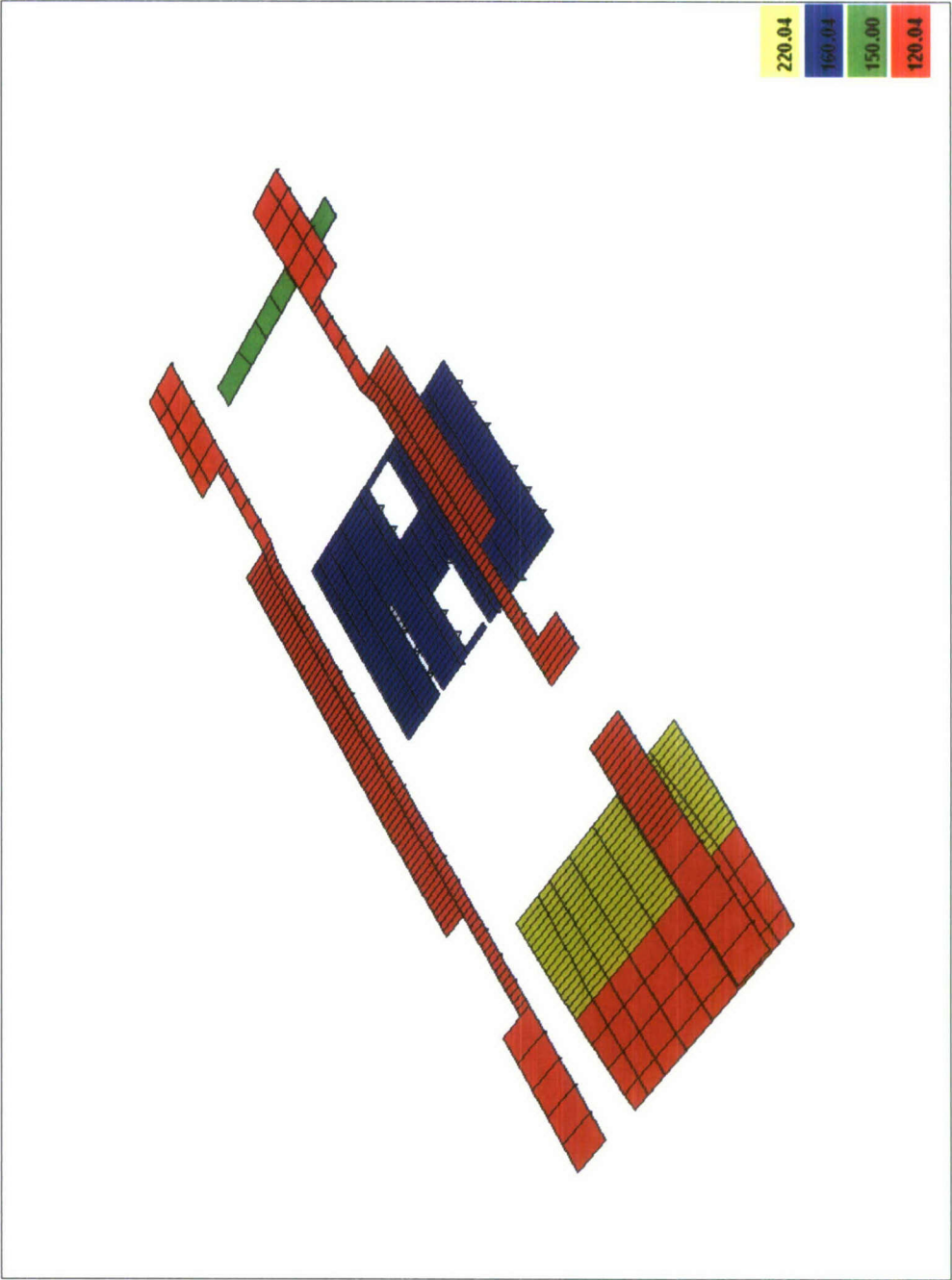




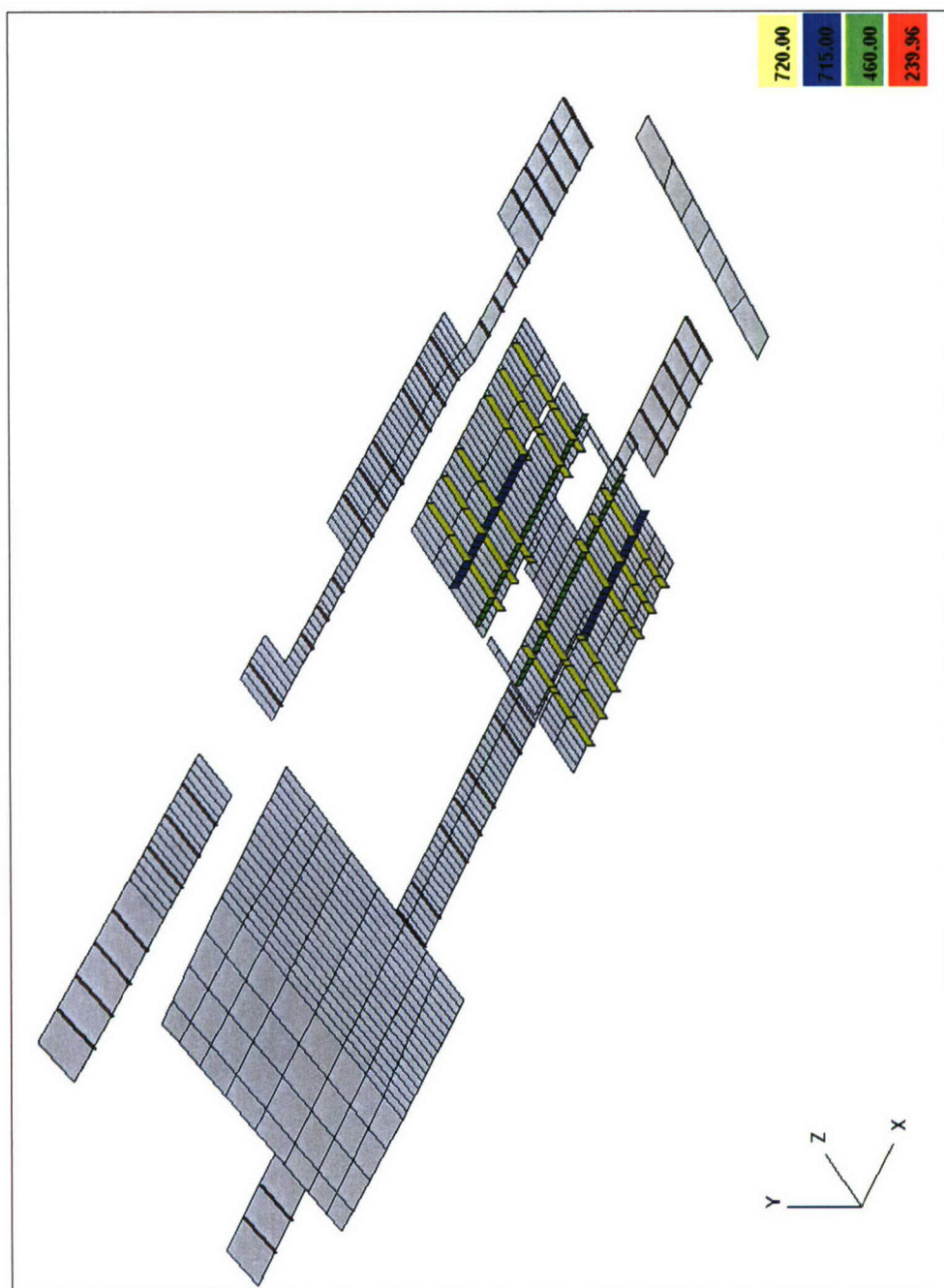


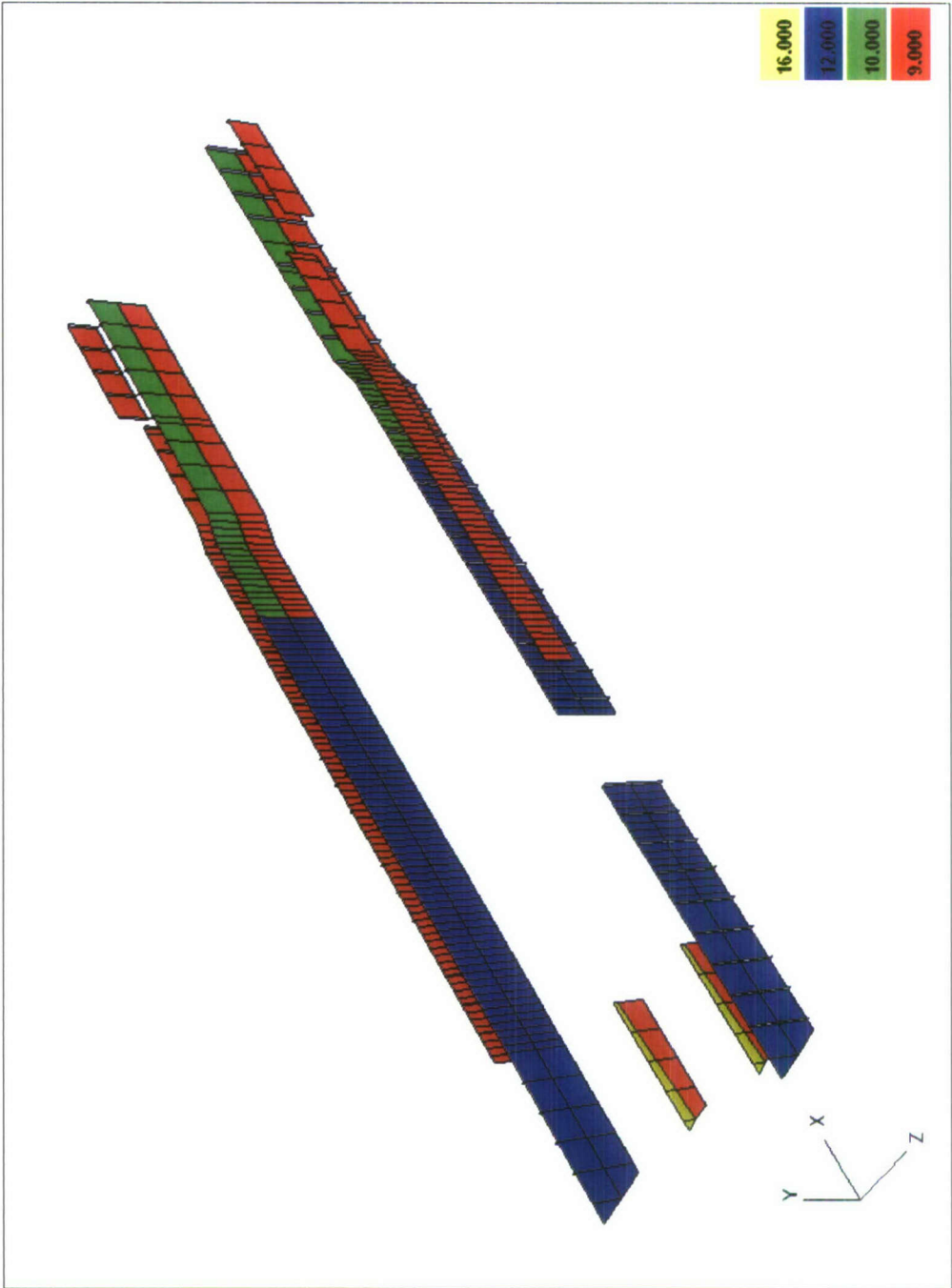


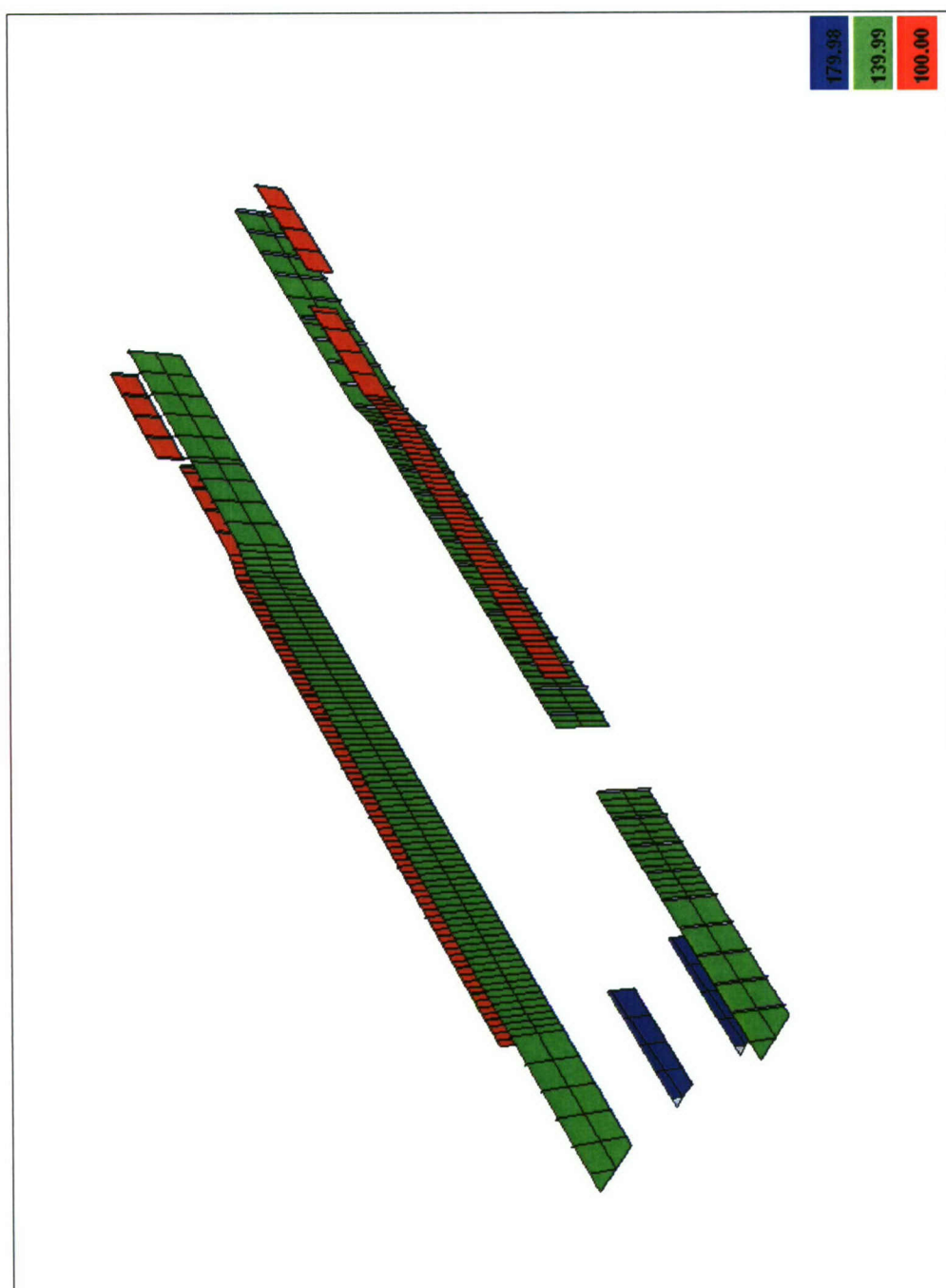




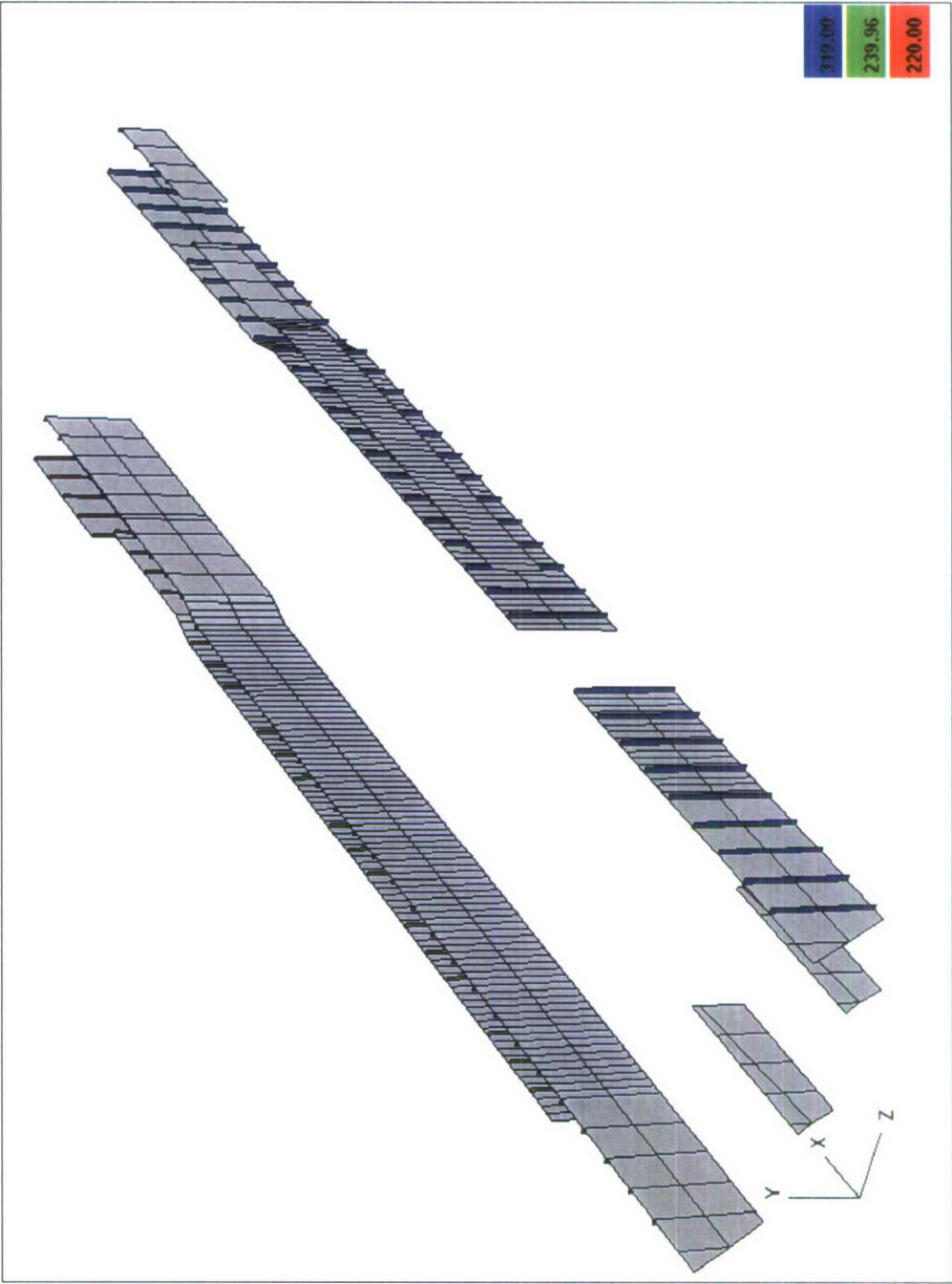


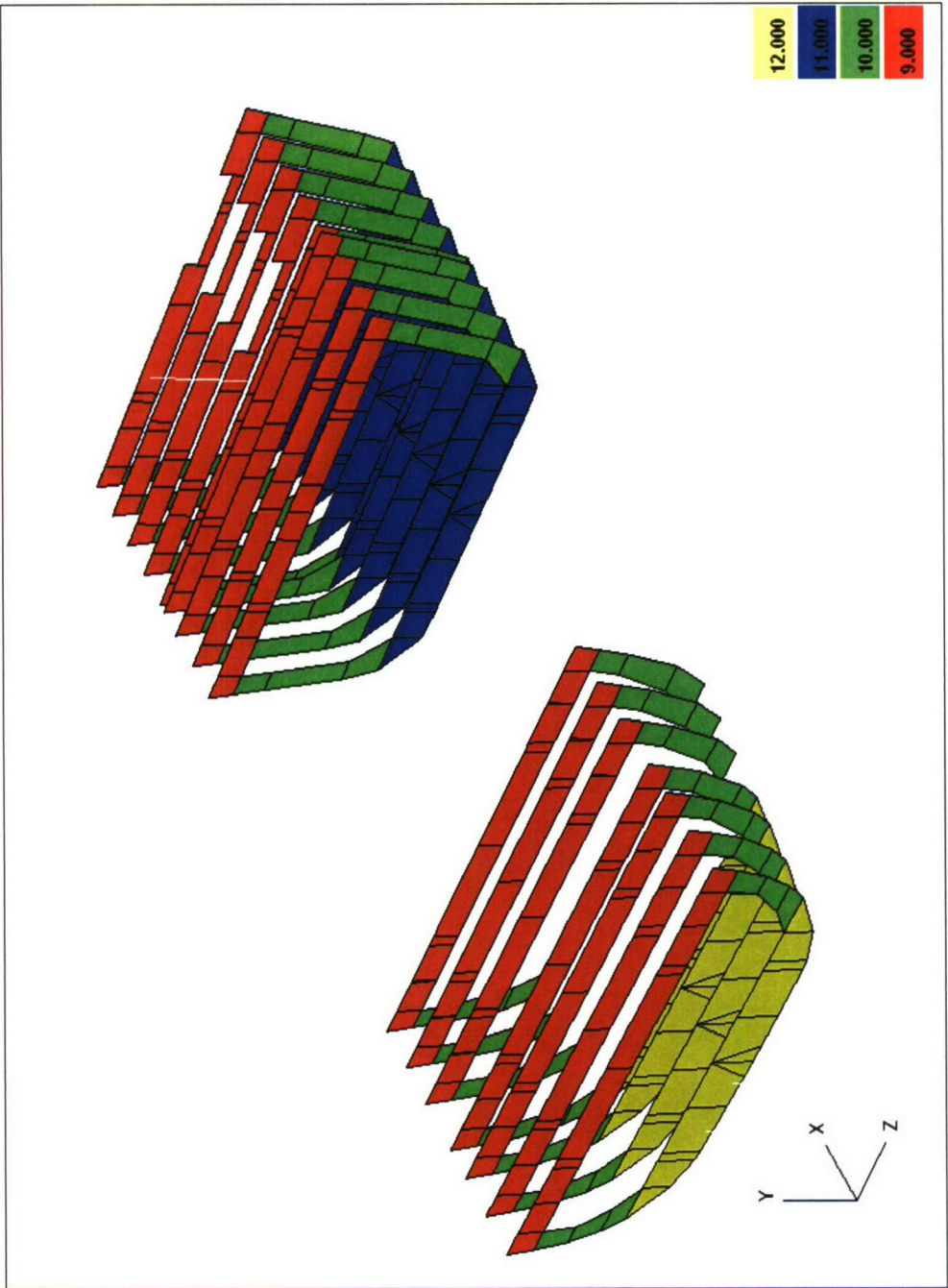


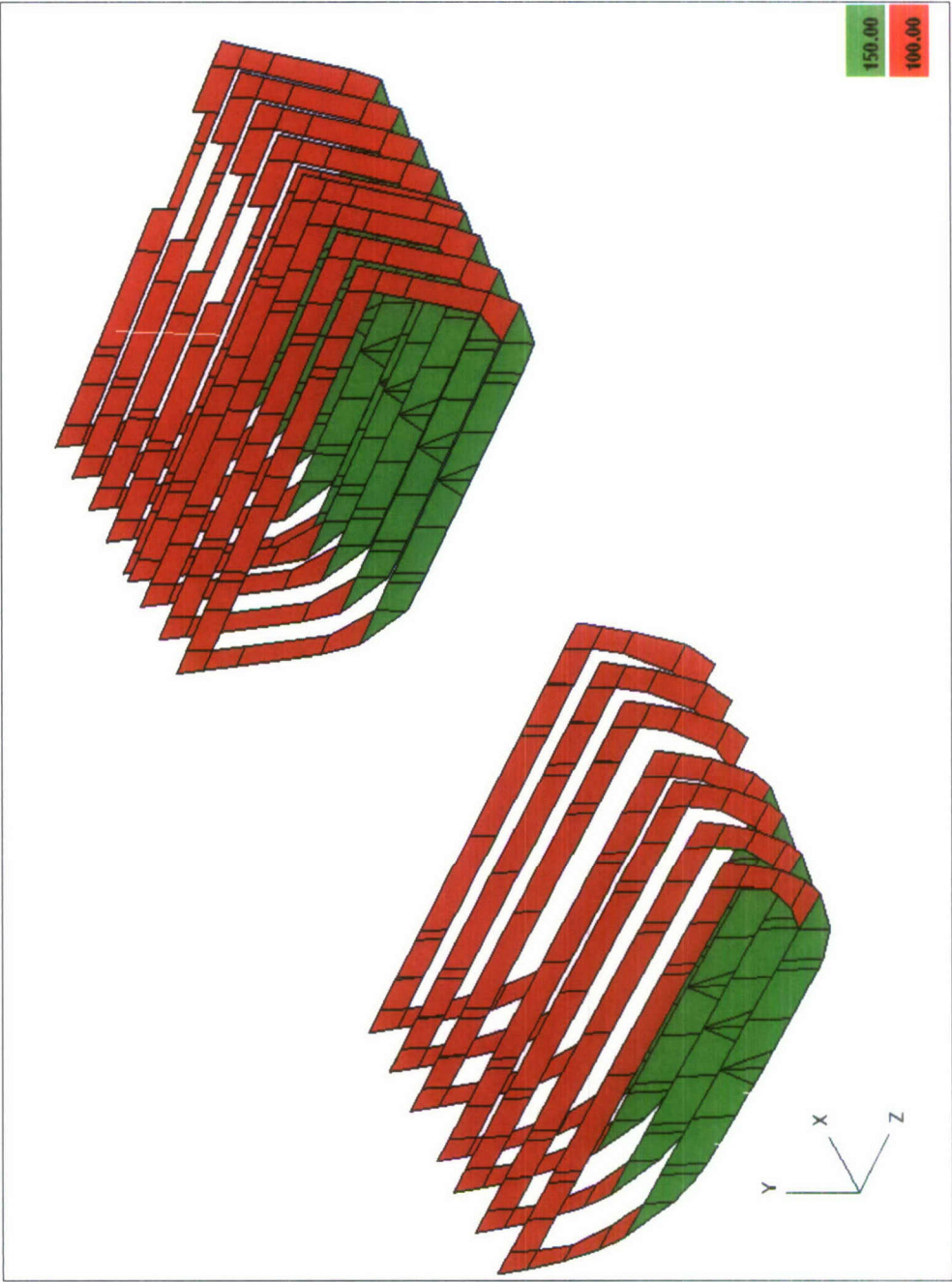




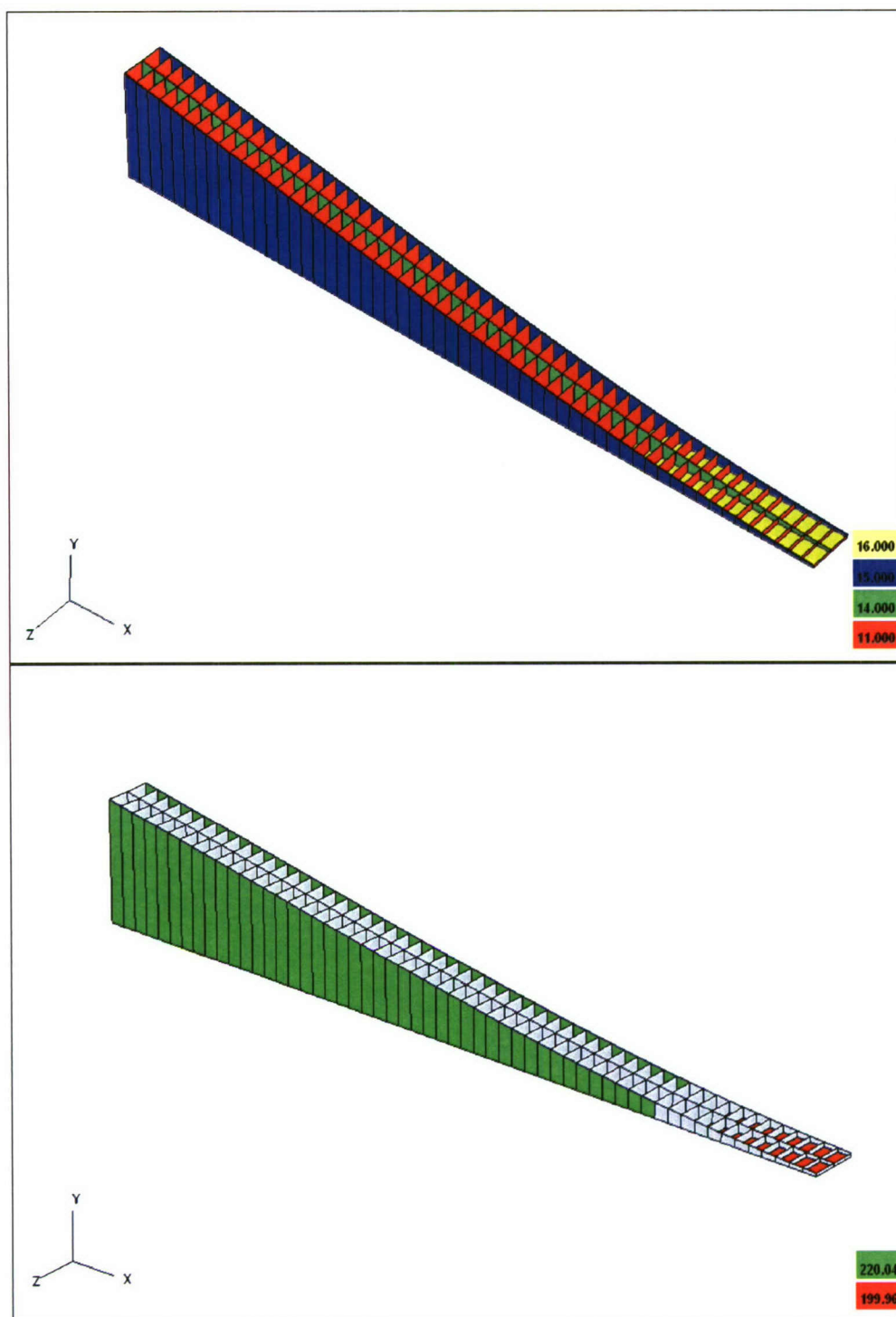




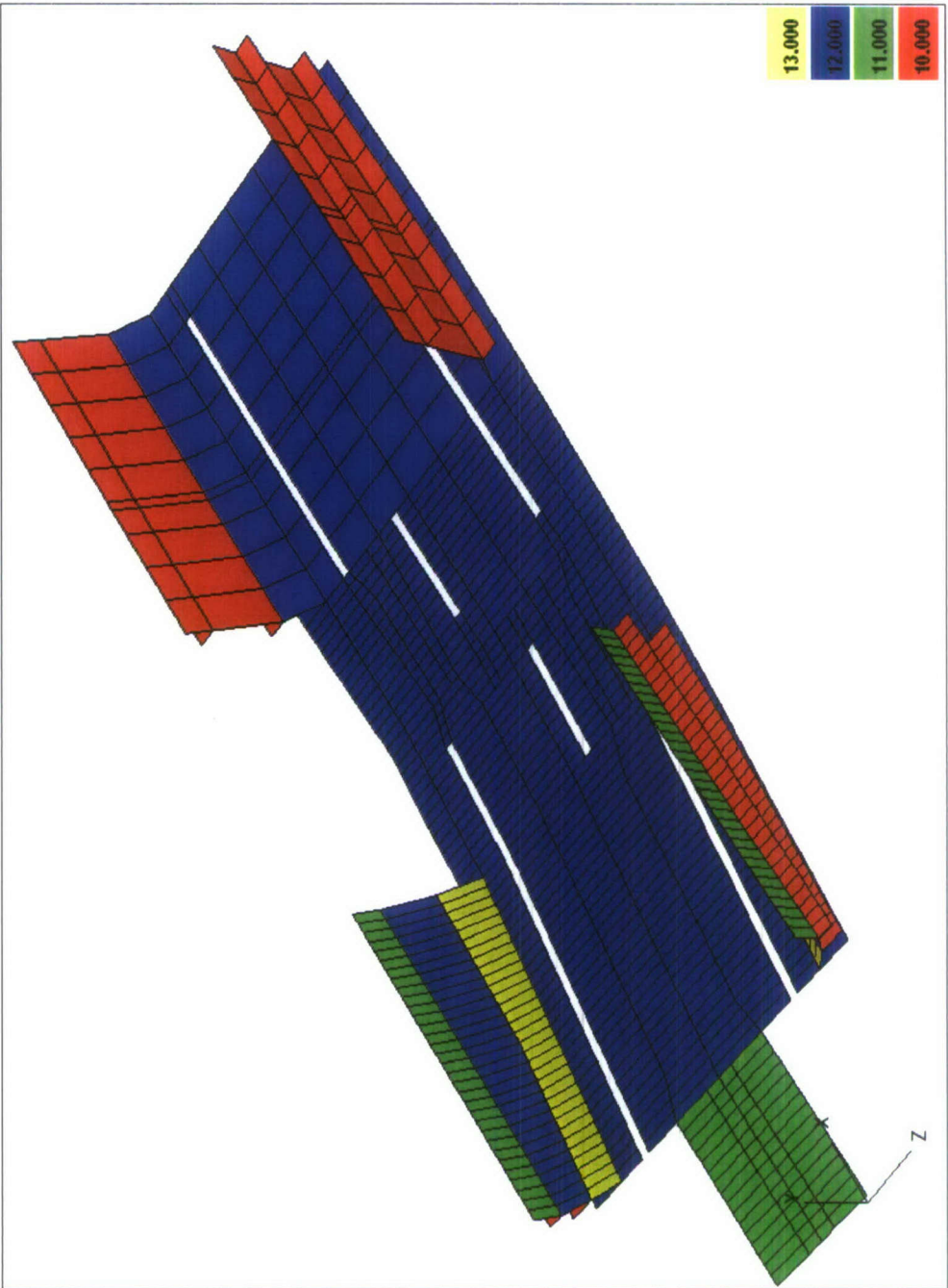


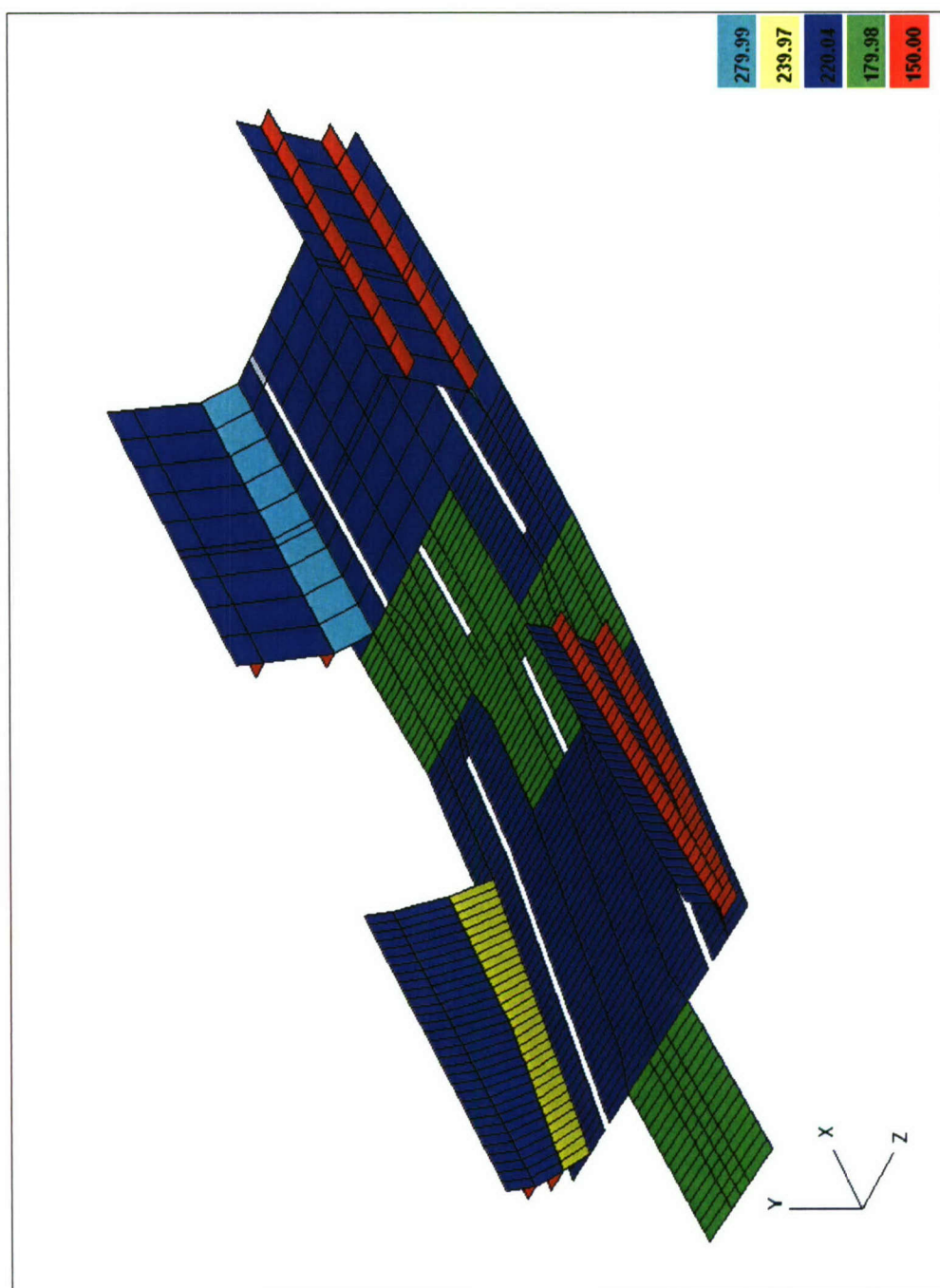






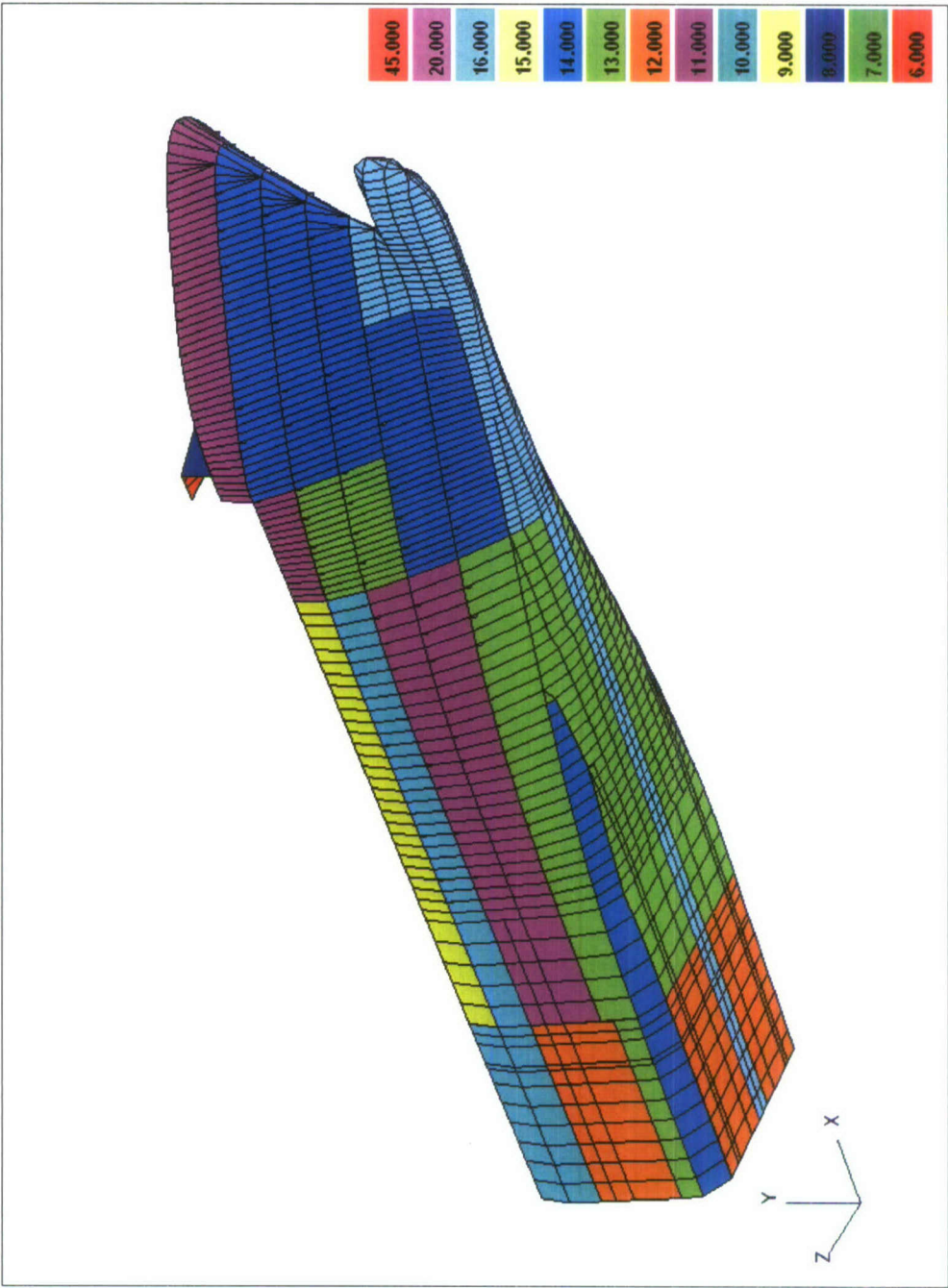
Figuur 26 Skeg plaatdikte en verstijver dimension

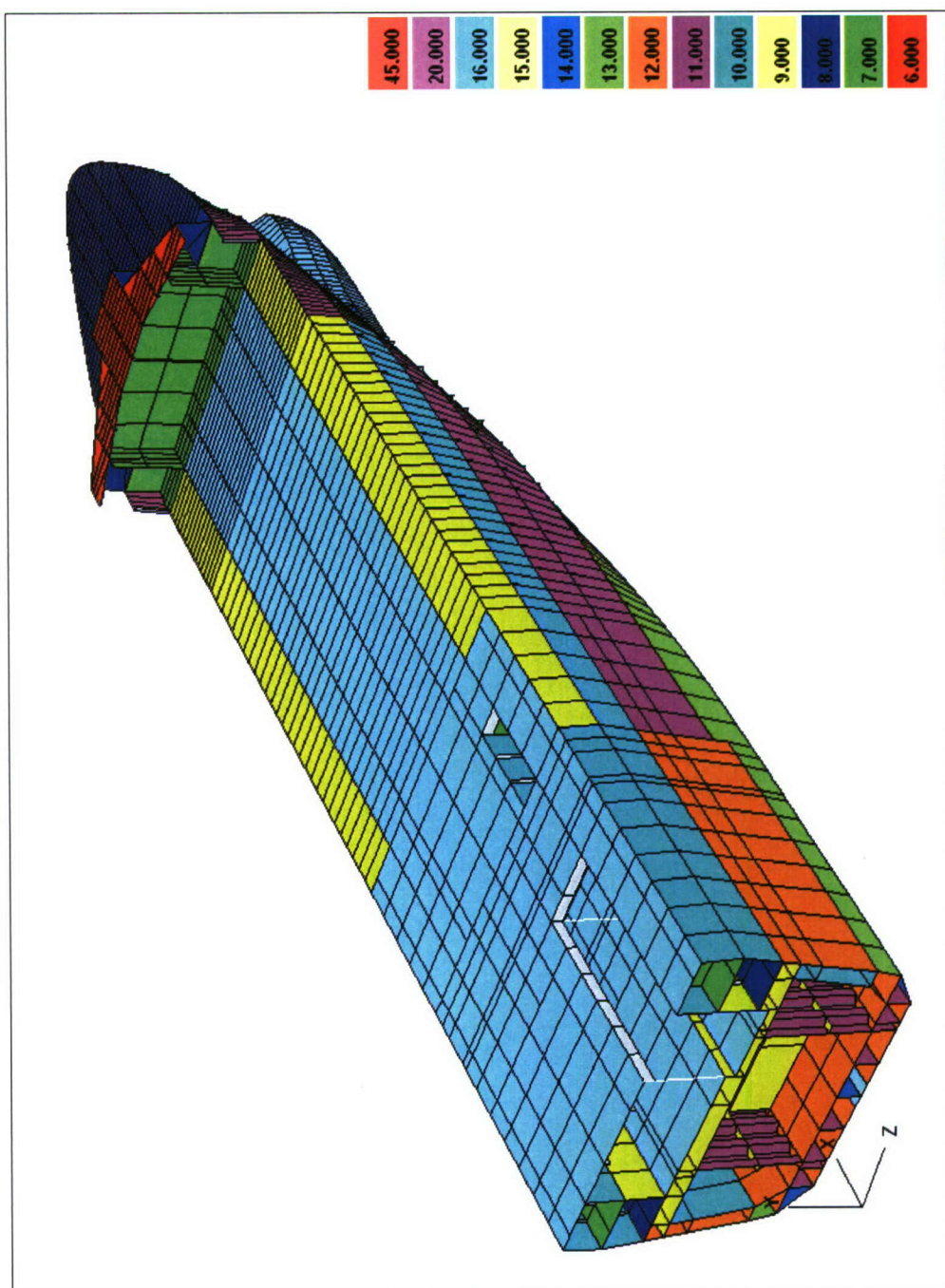


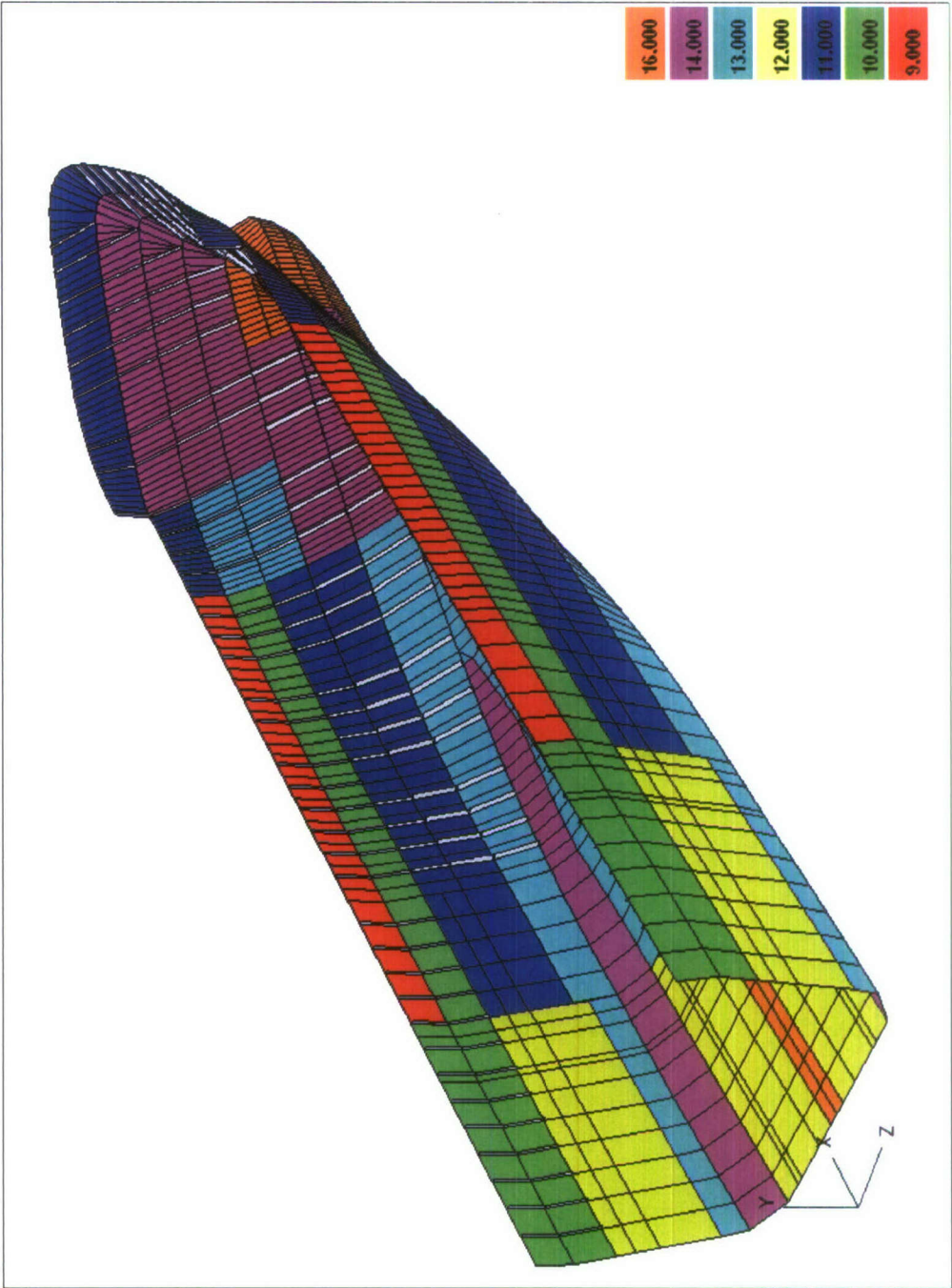




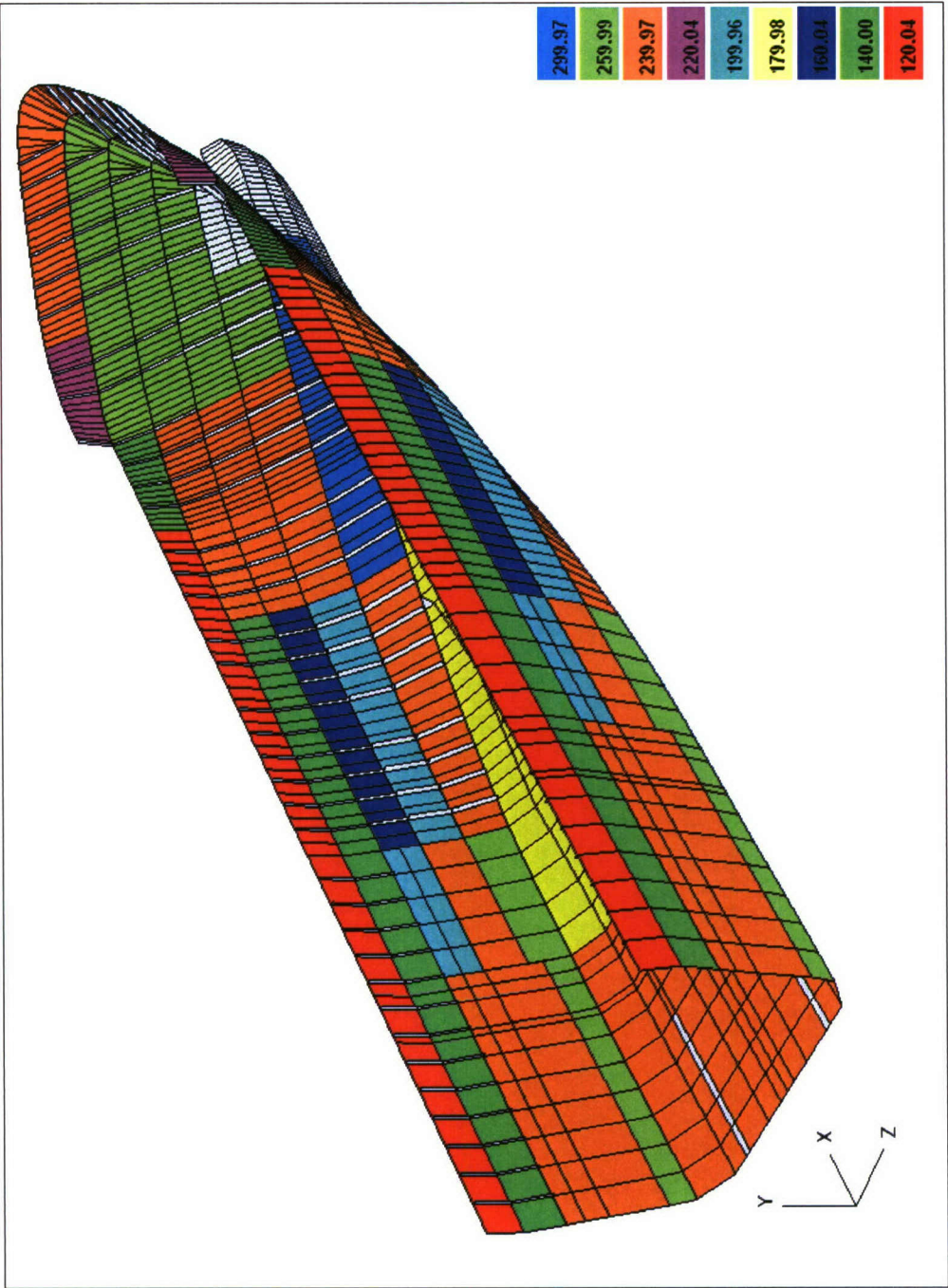
A.2      Voorschip spant 140-248

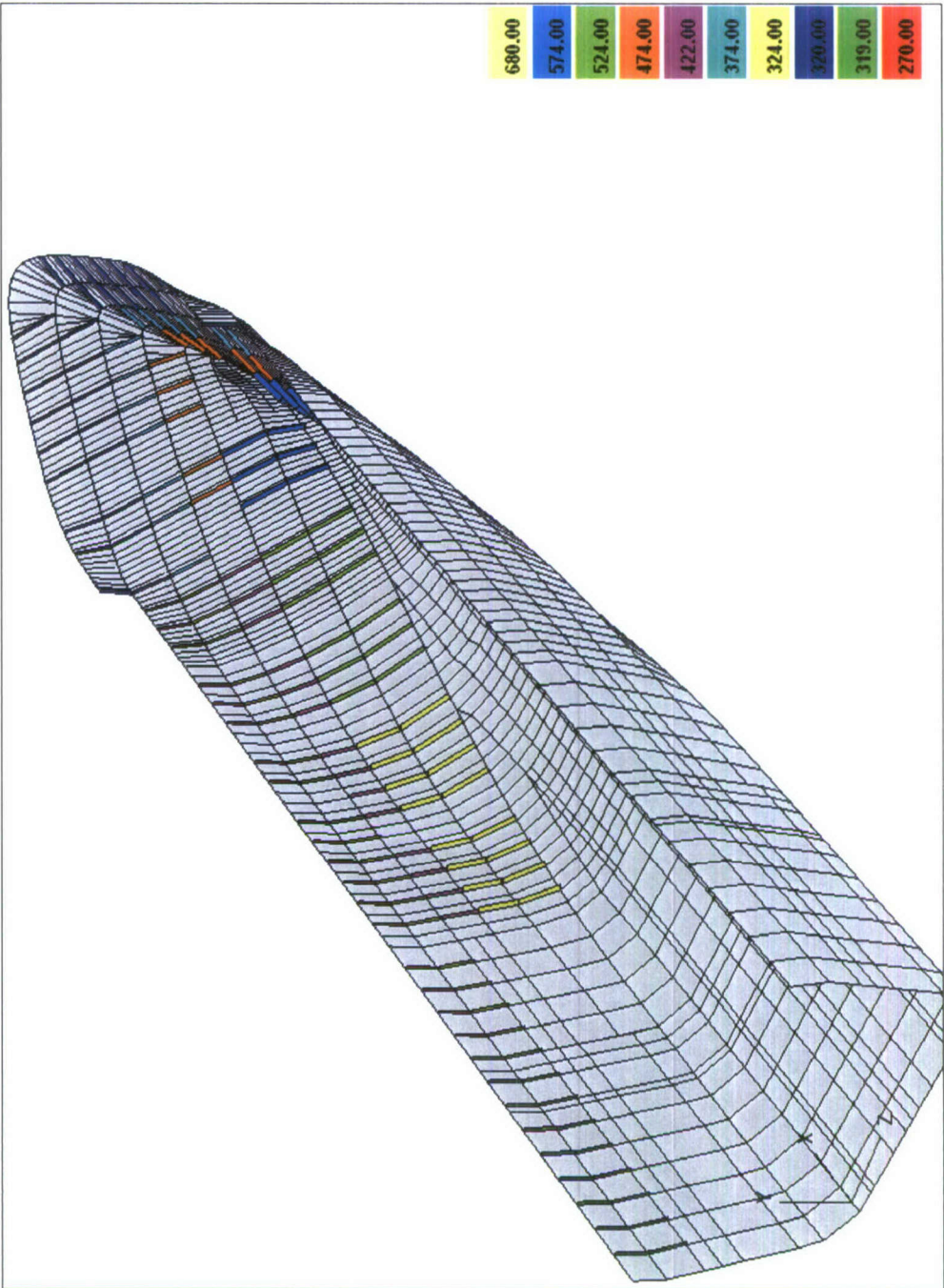


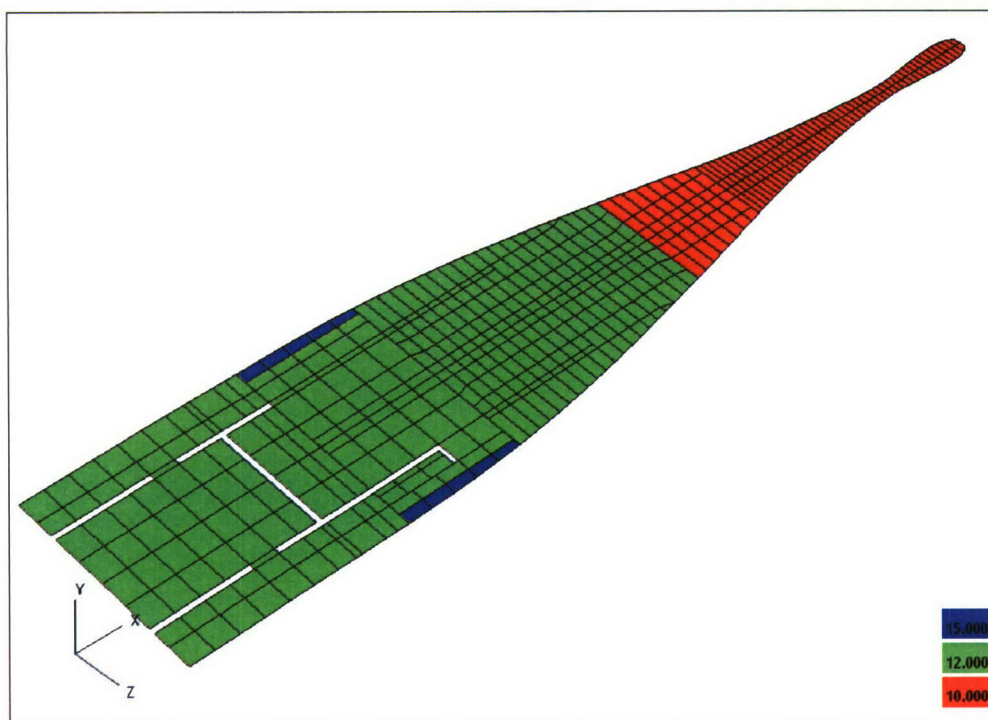




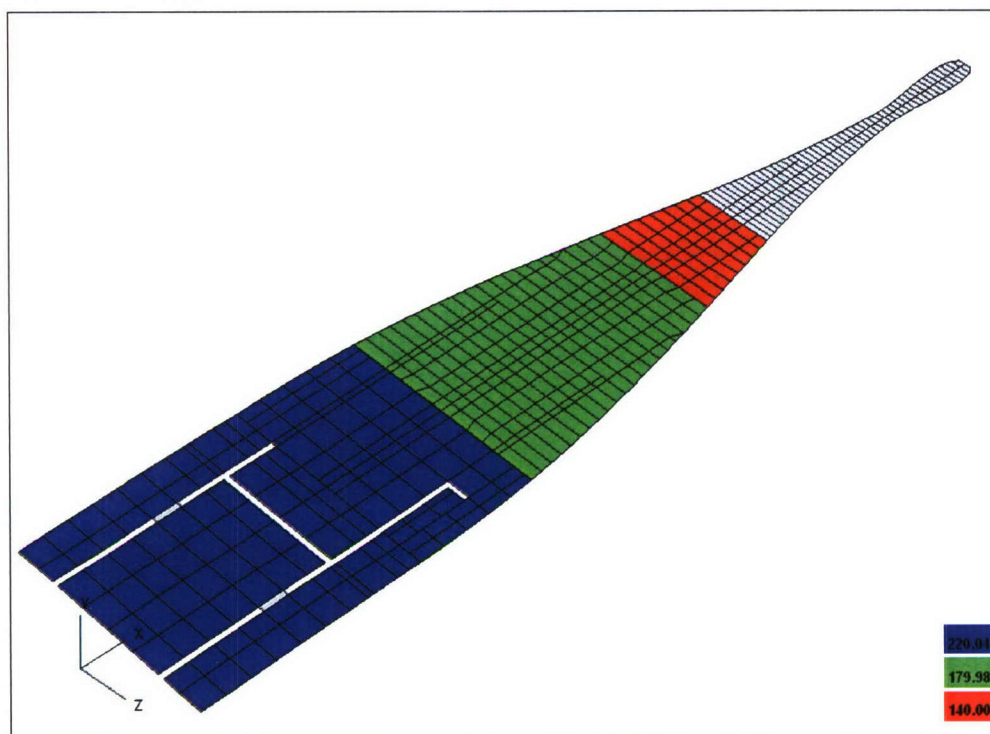






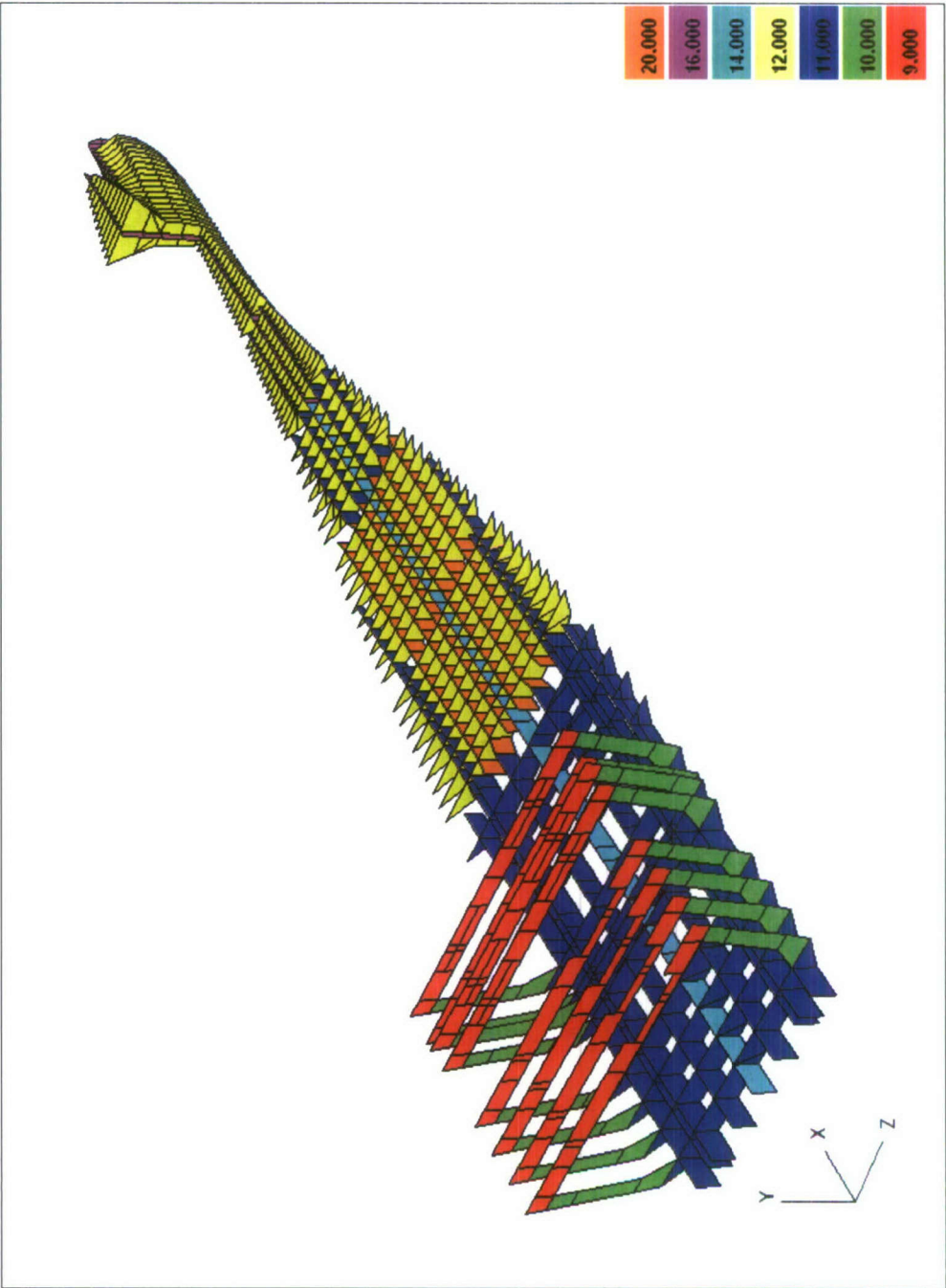


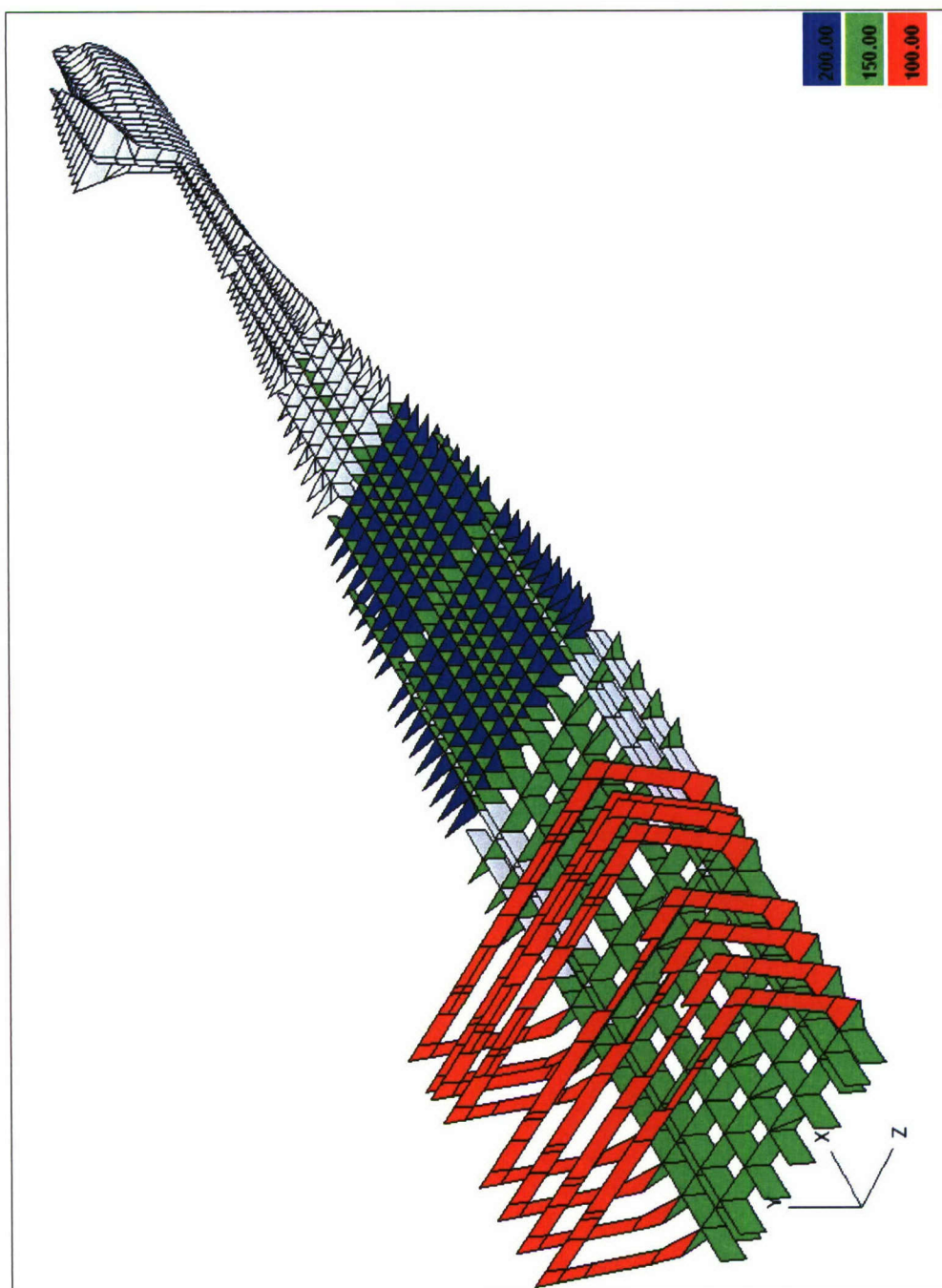
Figuur 34 Tanktop, plaatdikte

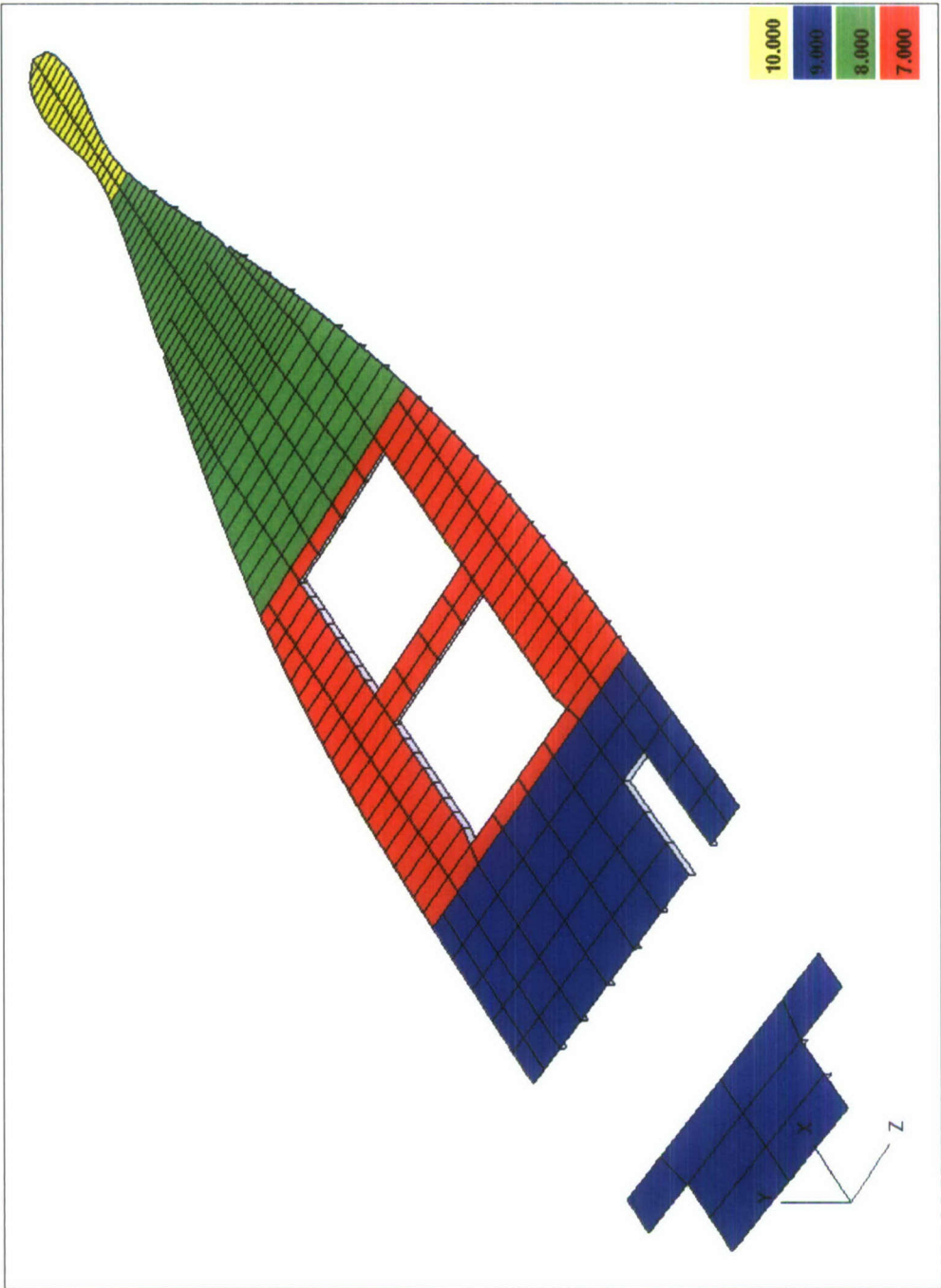


Figuur 35 Tanktop, verstijverhoogte

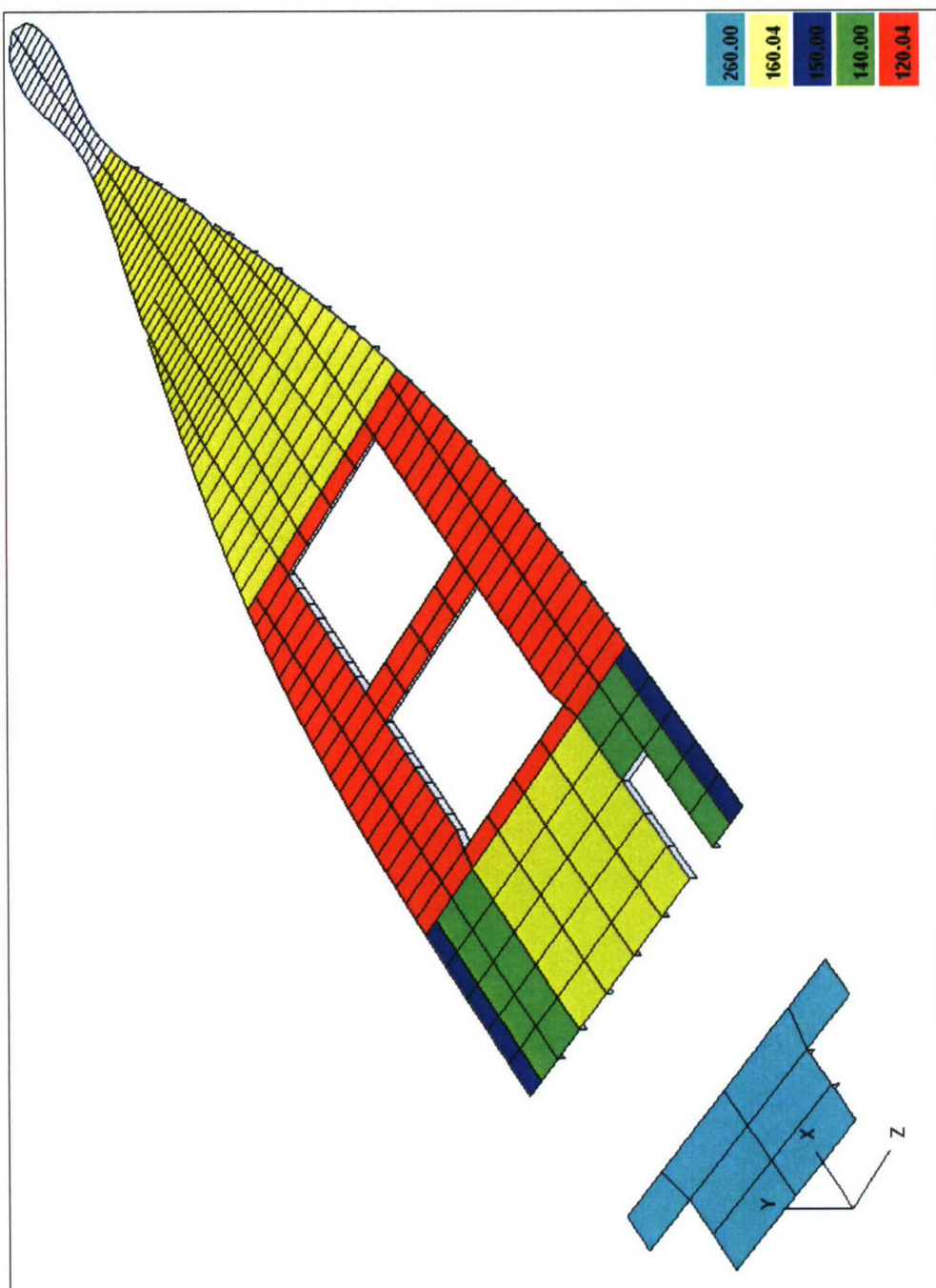


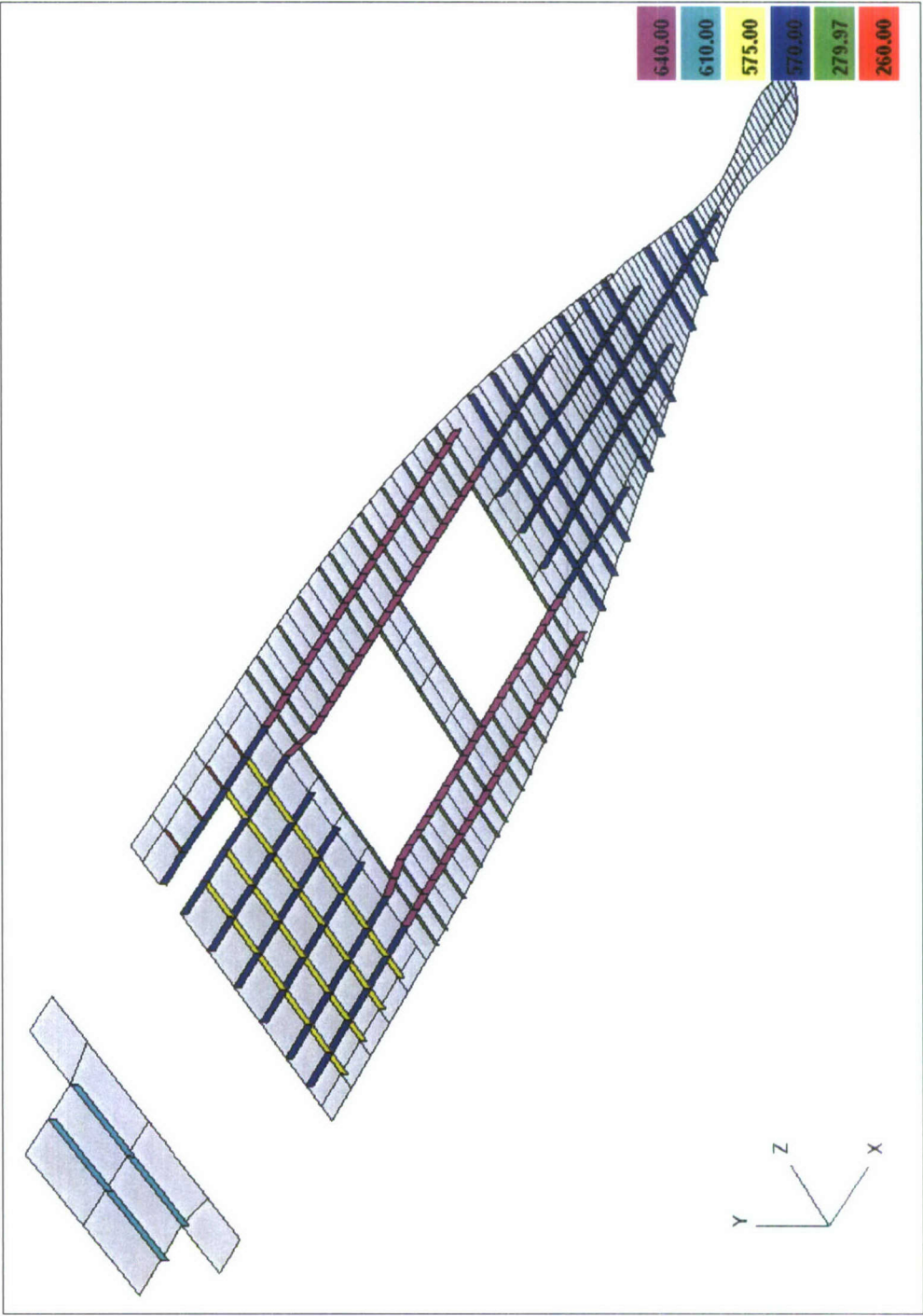


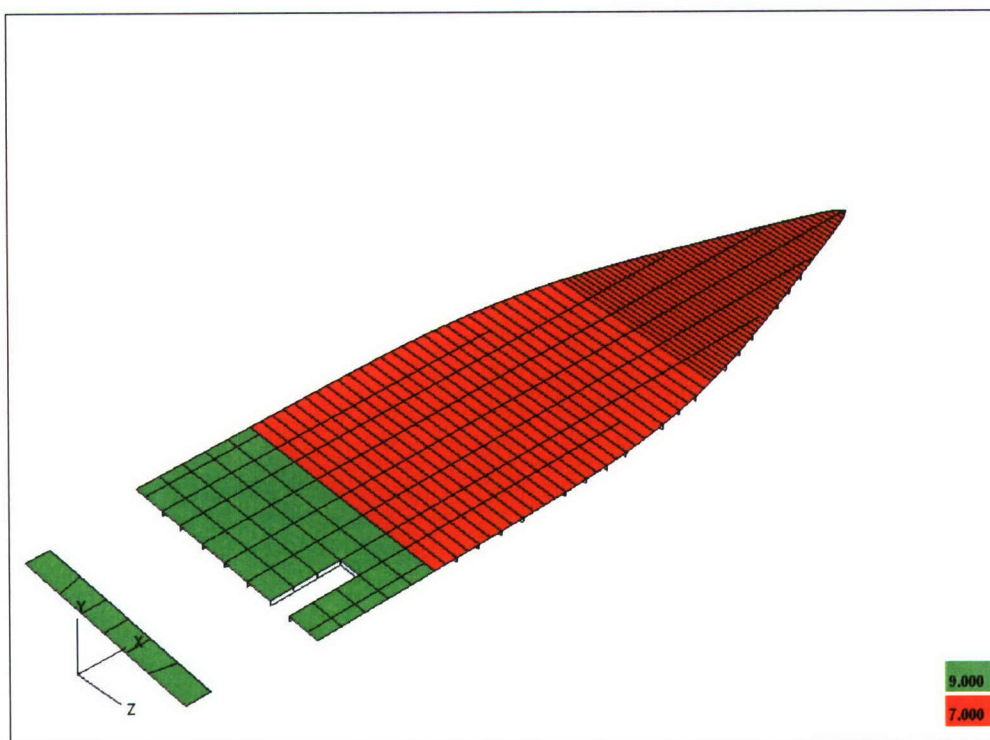




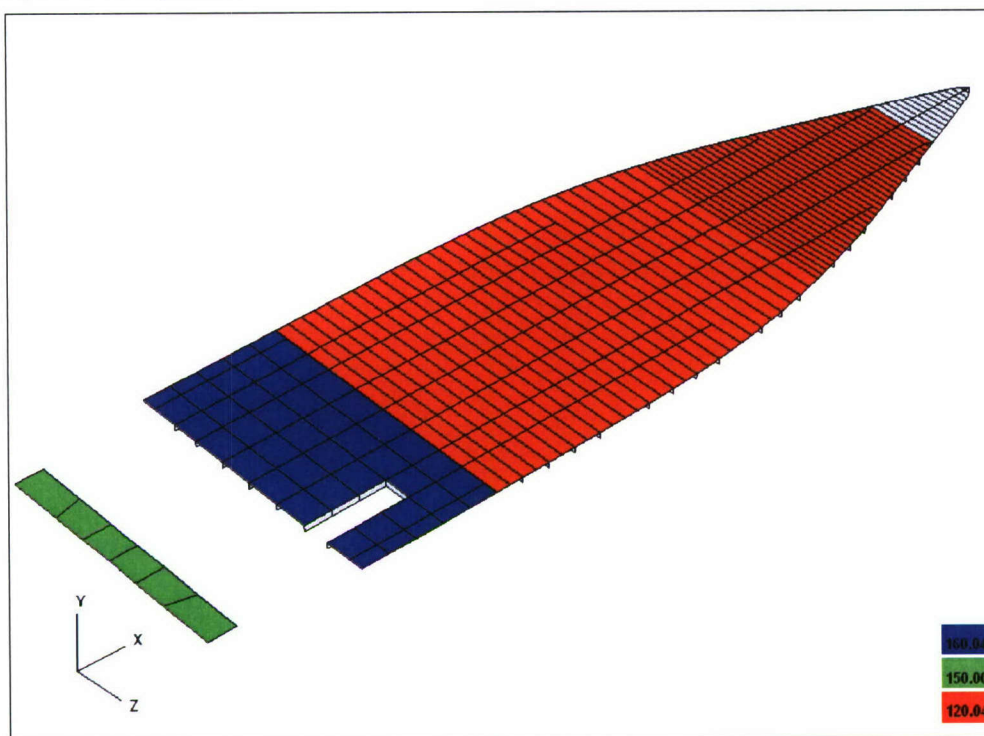






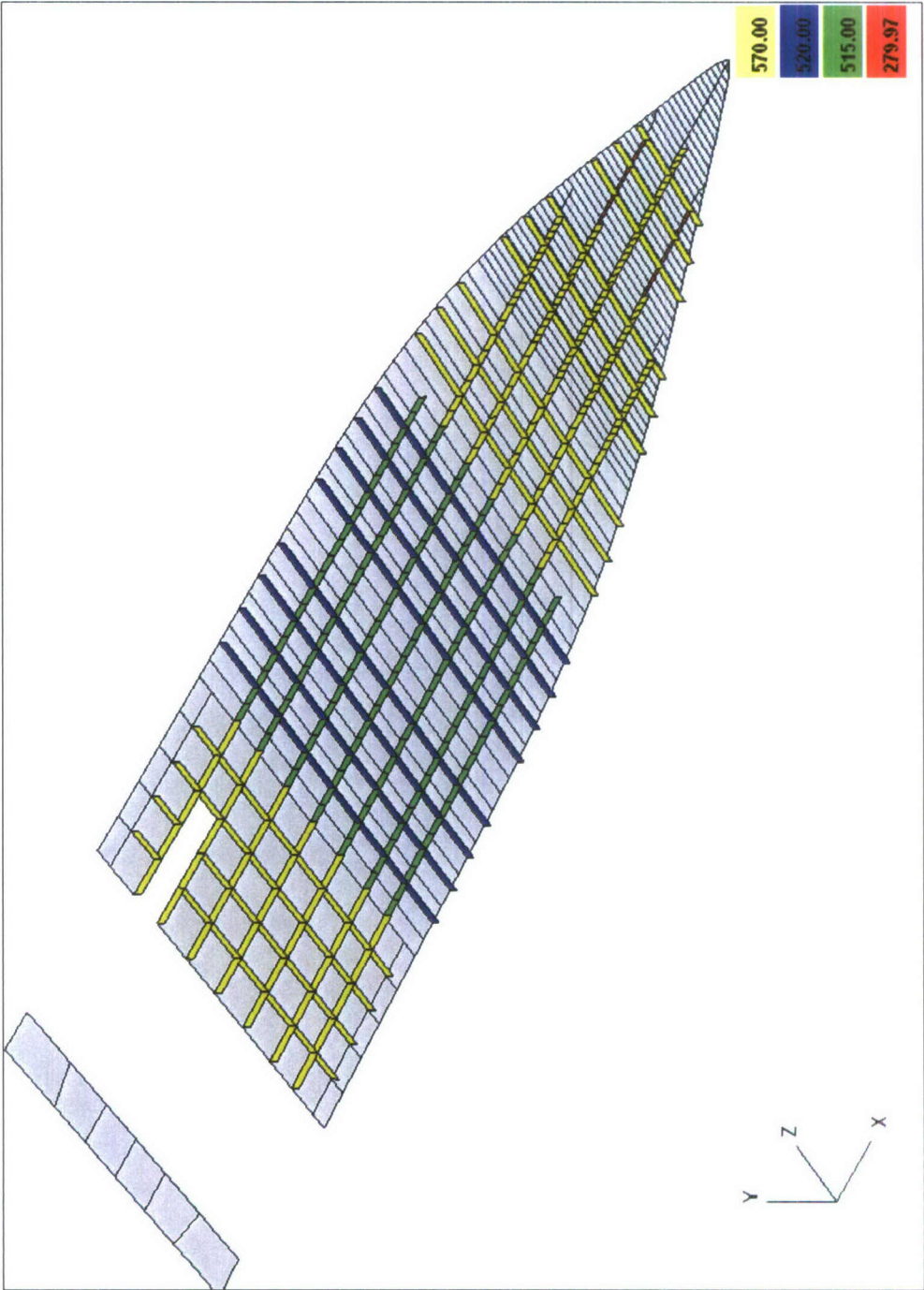


Figuur 41 J-dek, plaatdikte

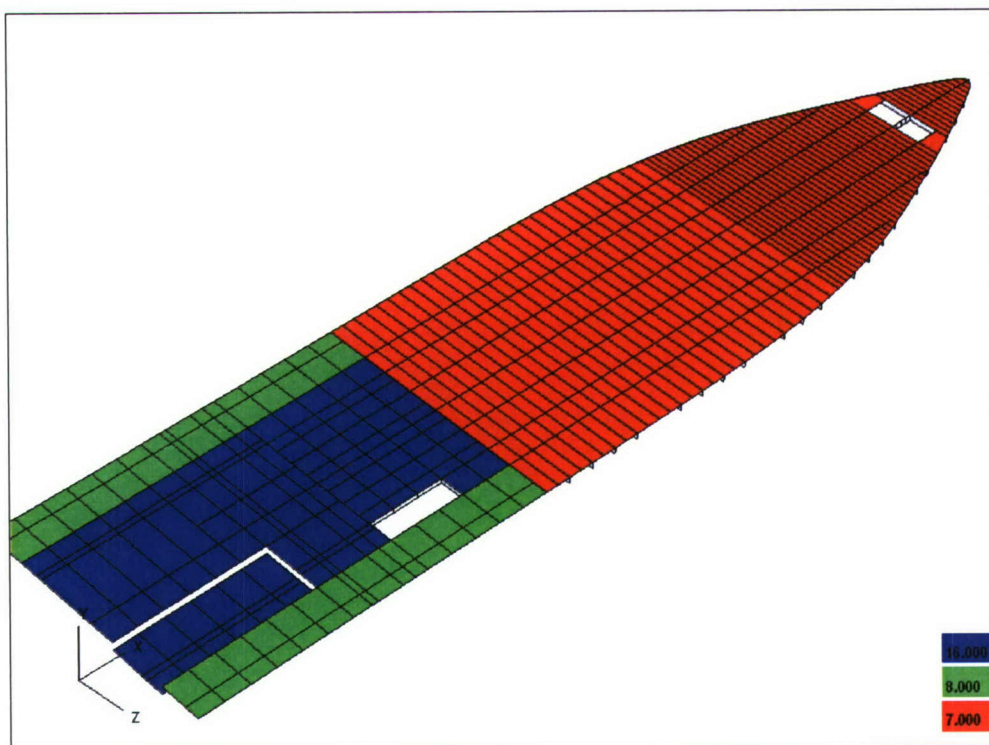


Figuur 42 J-dek, verstijver heigt

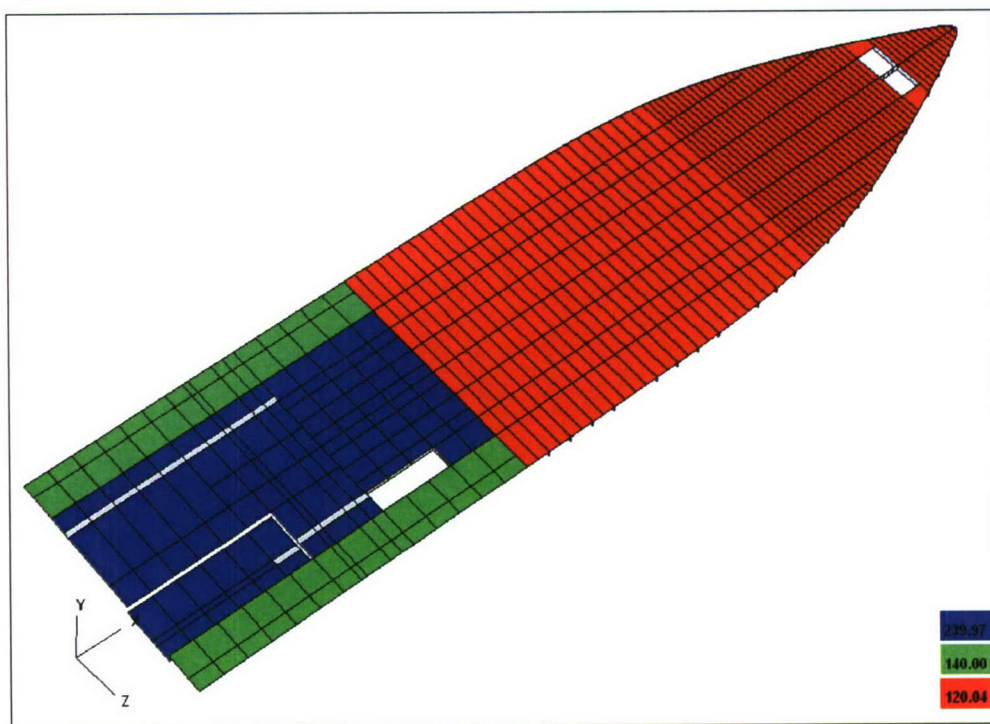




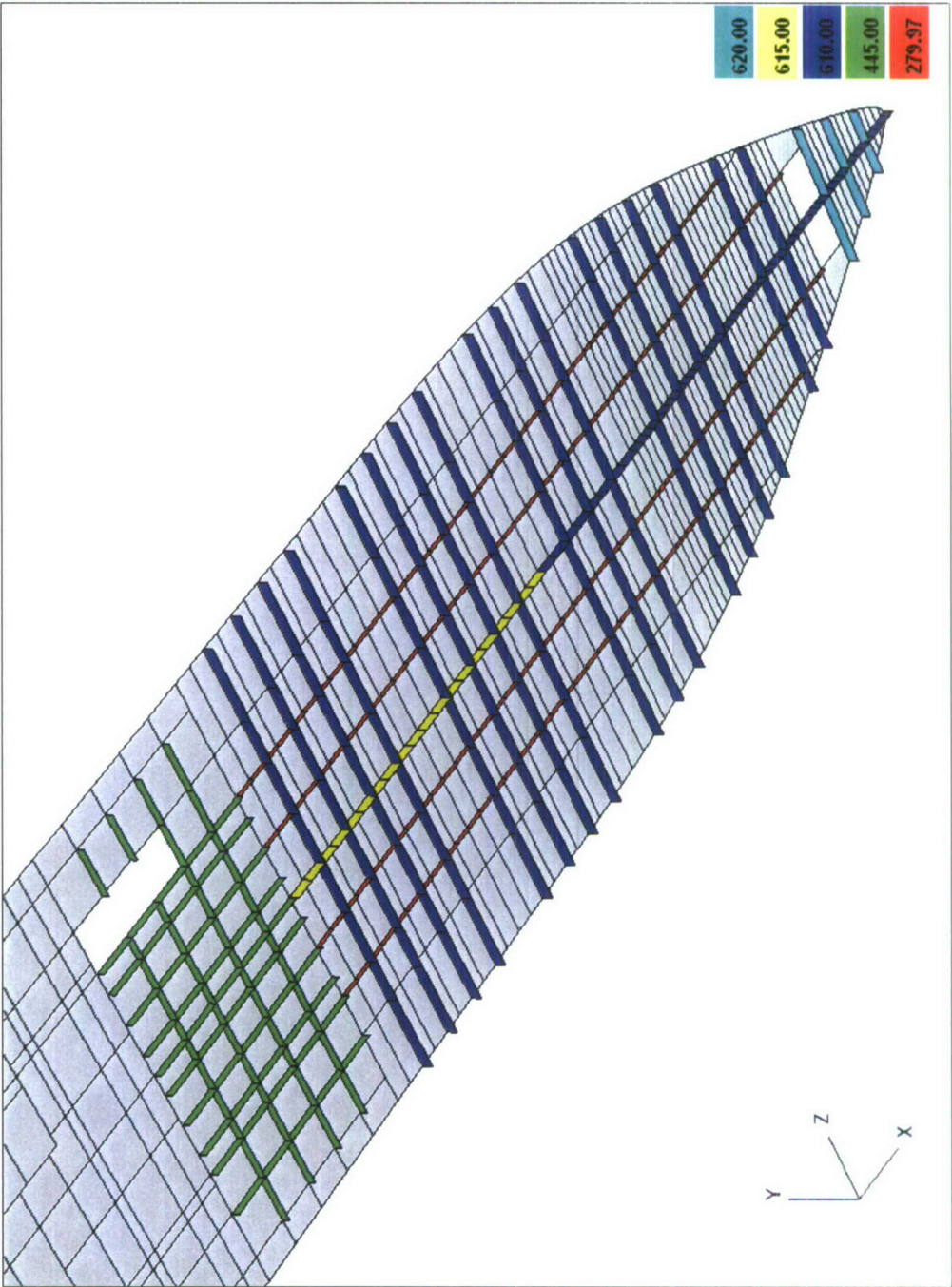
Figuur 43 J-dek, webframehoogte



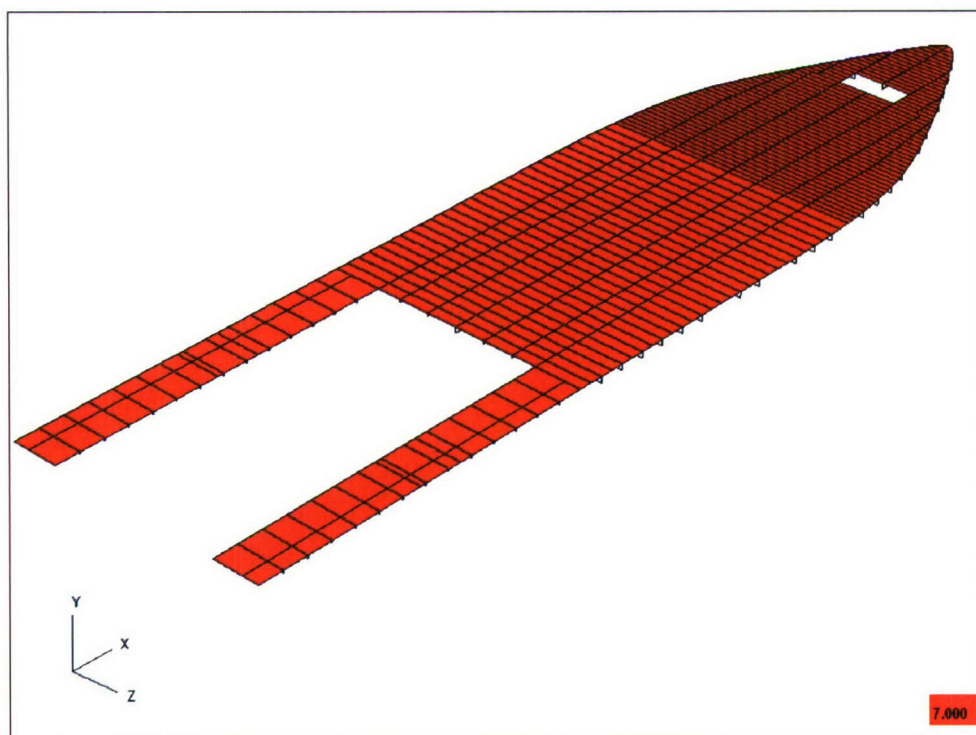
Figuur 44 H-dek, plaatdikte



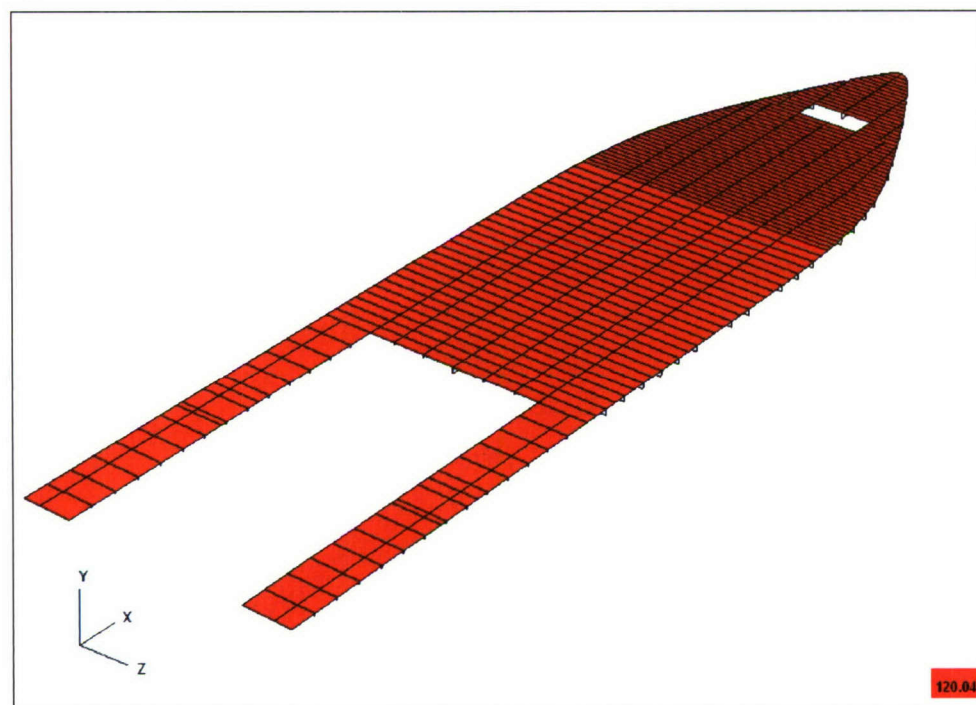
Figuur 45 H-dek, verstijverhoogte



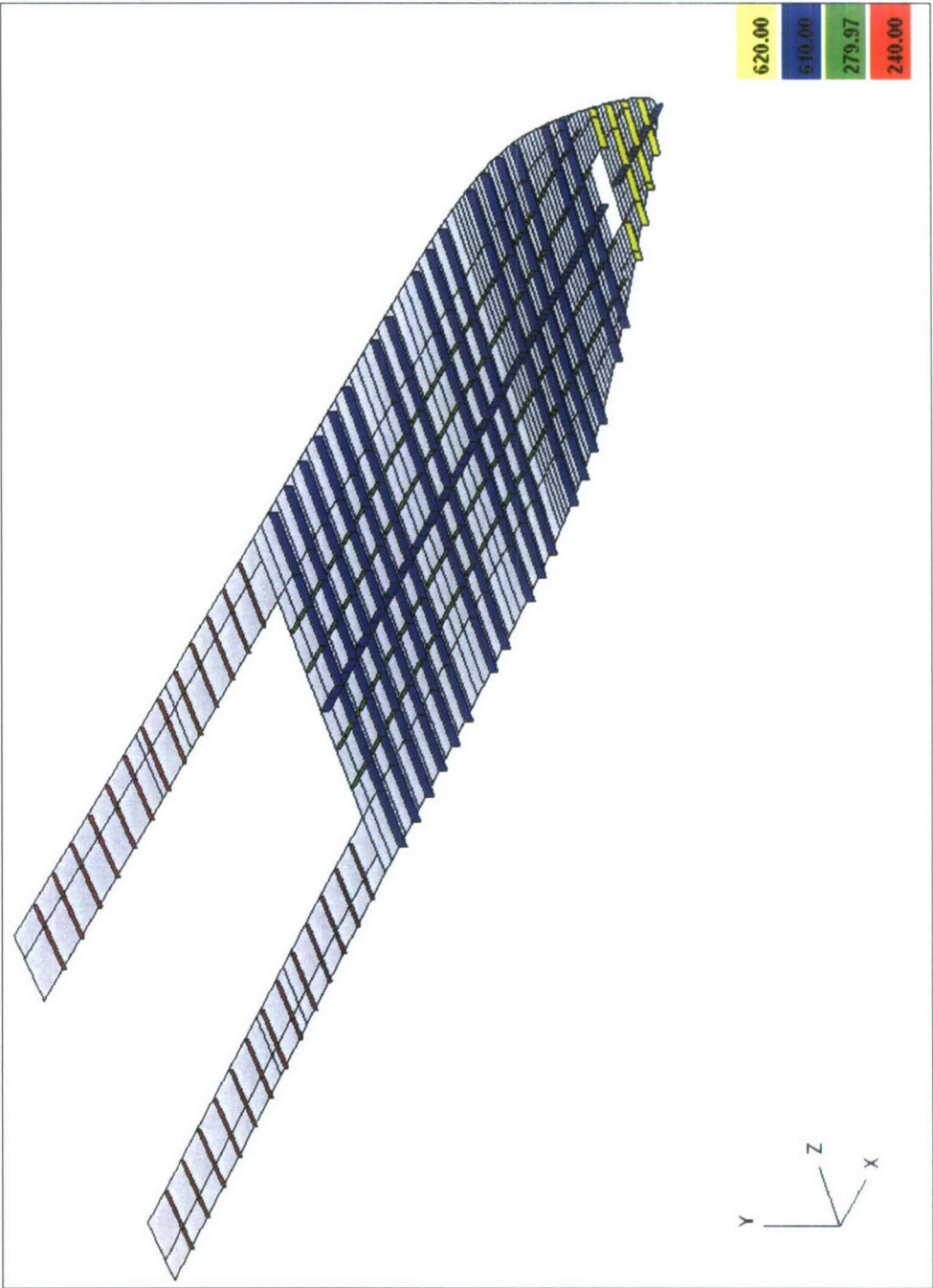


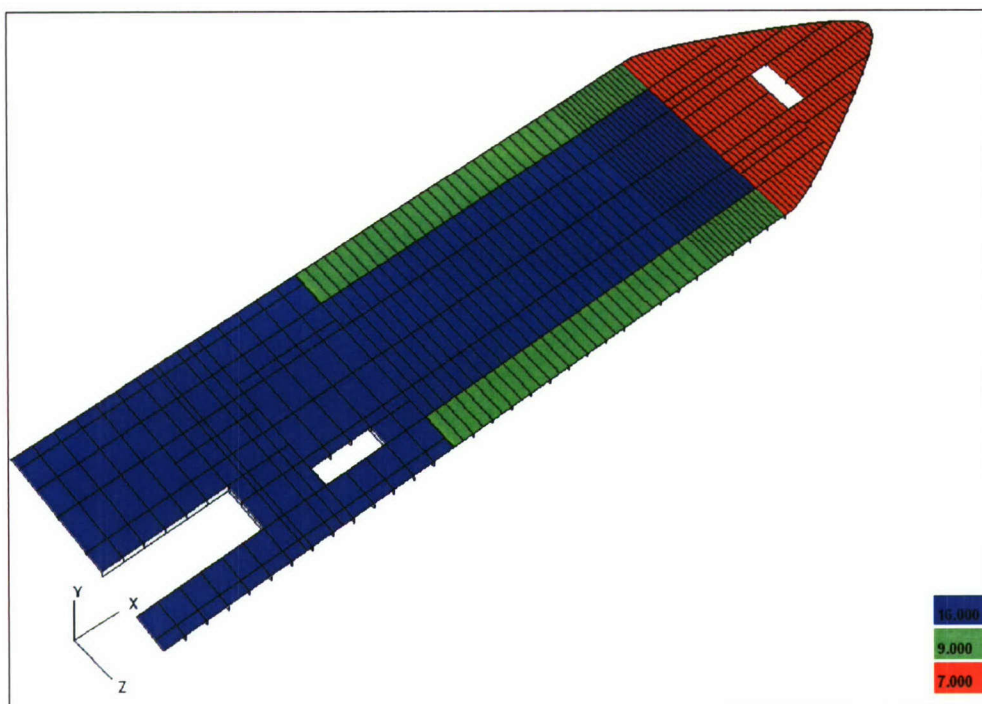


Figuur 47 G-dek, plaatdikte

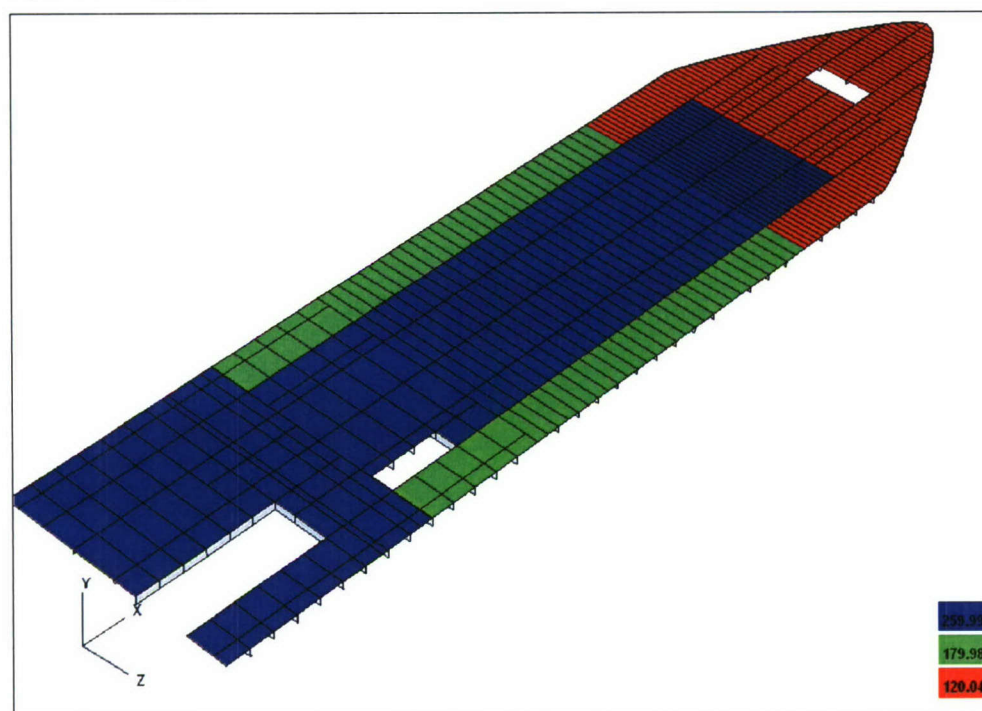


Figuur 48 G-dek, verstijverhoogte



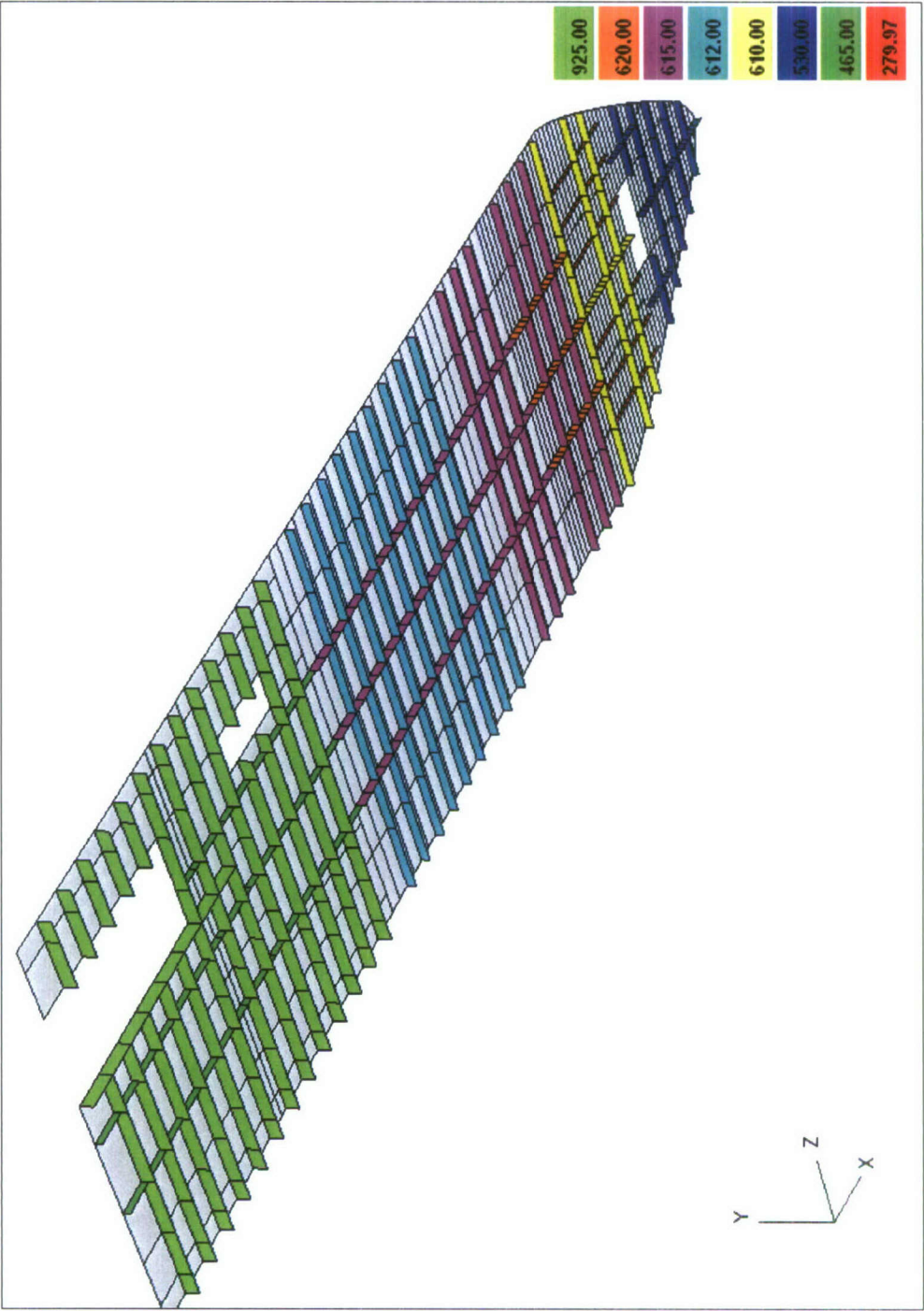


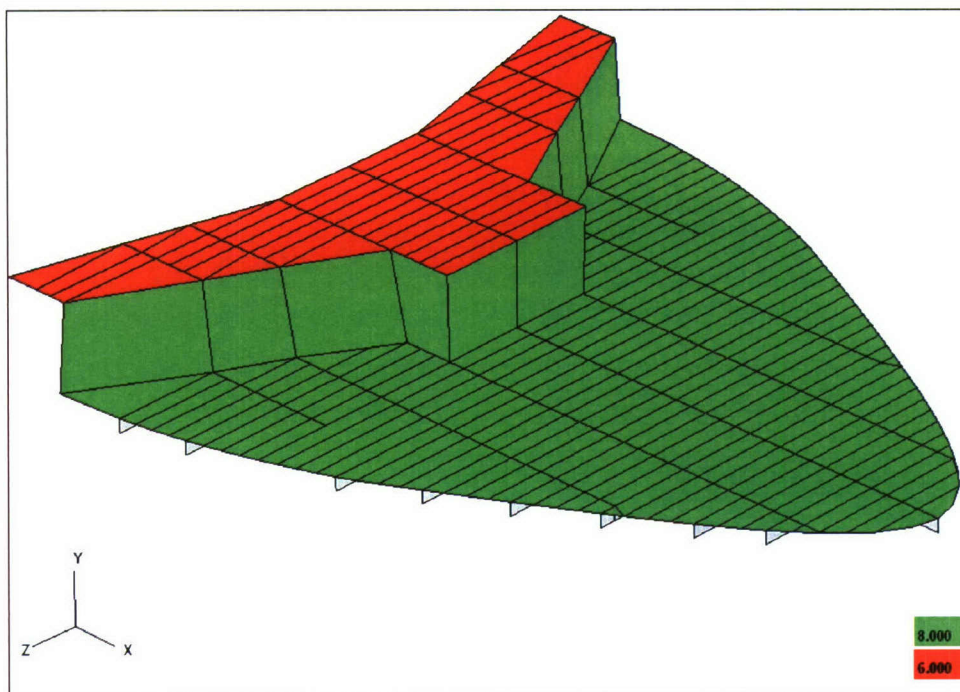
Figuur 50 F-dek, plaatdikte



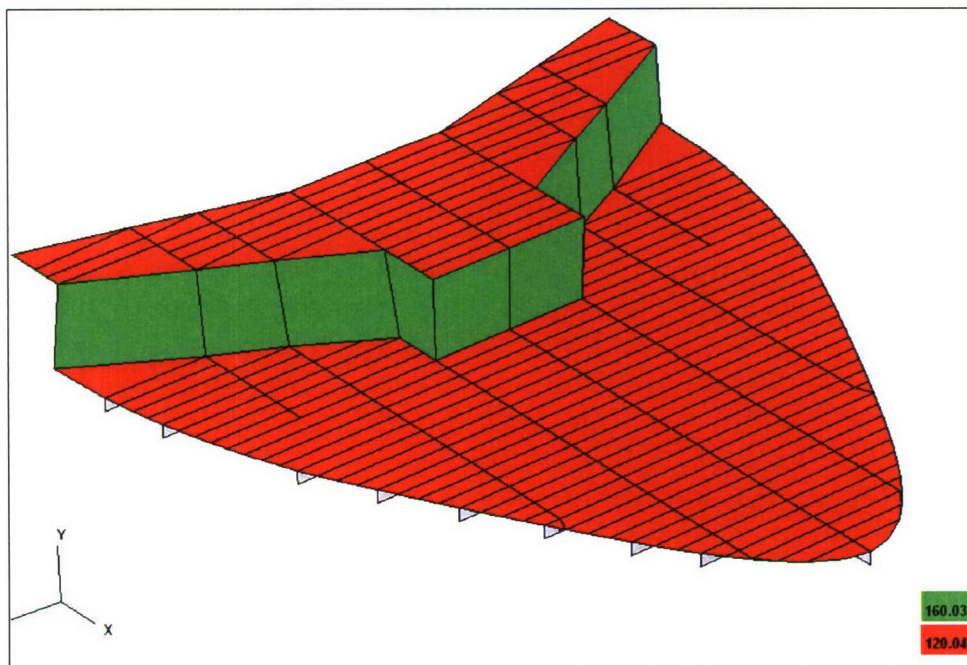
Figuur 51 F-dek, verstijverhoogte



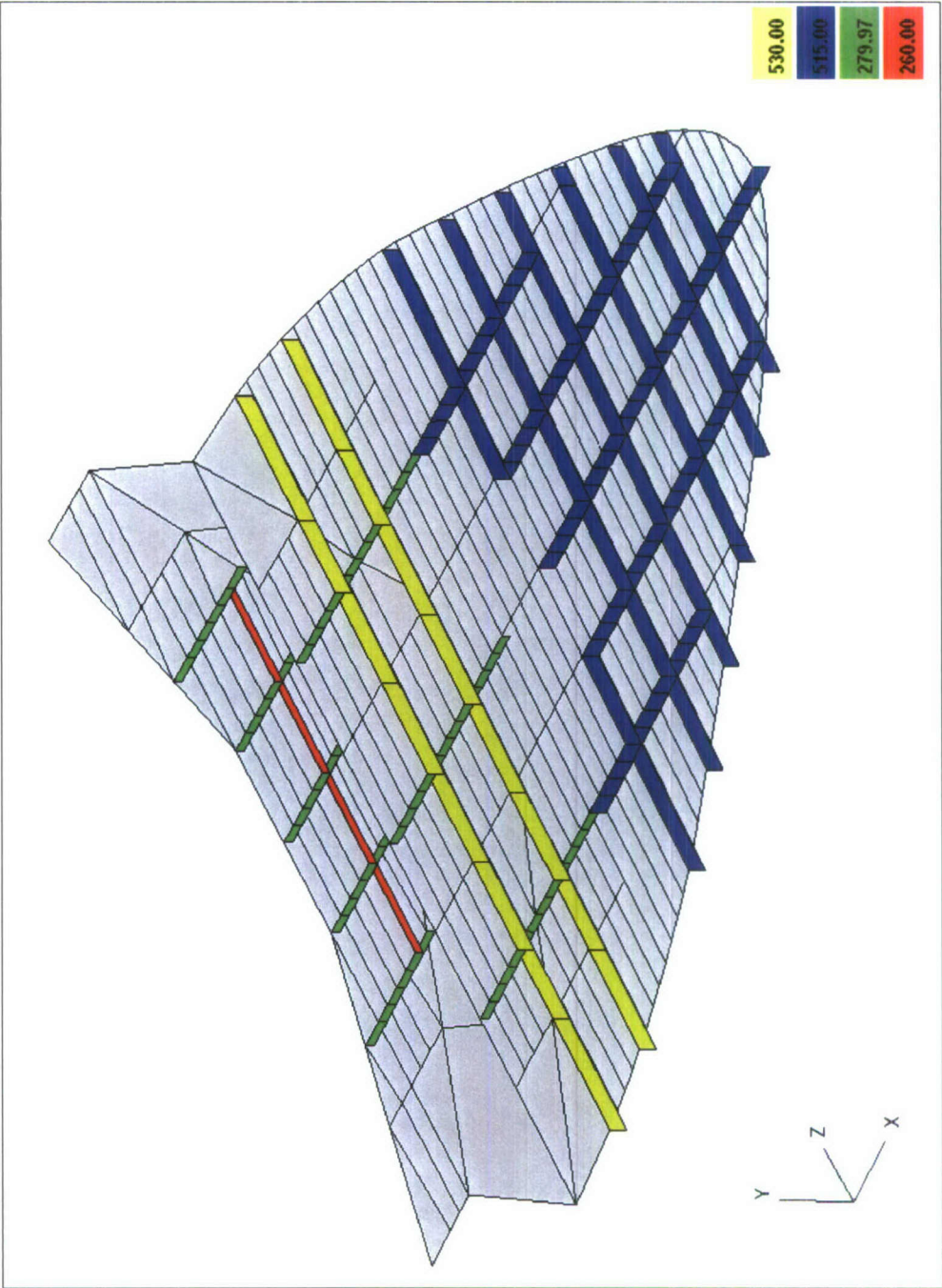




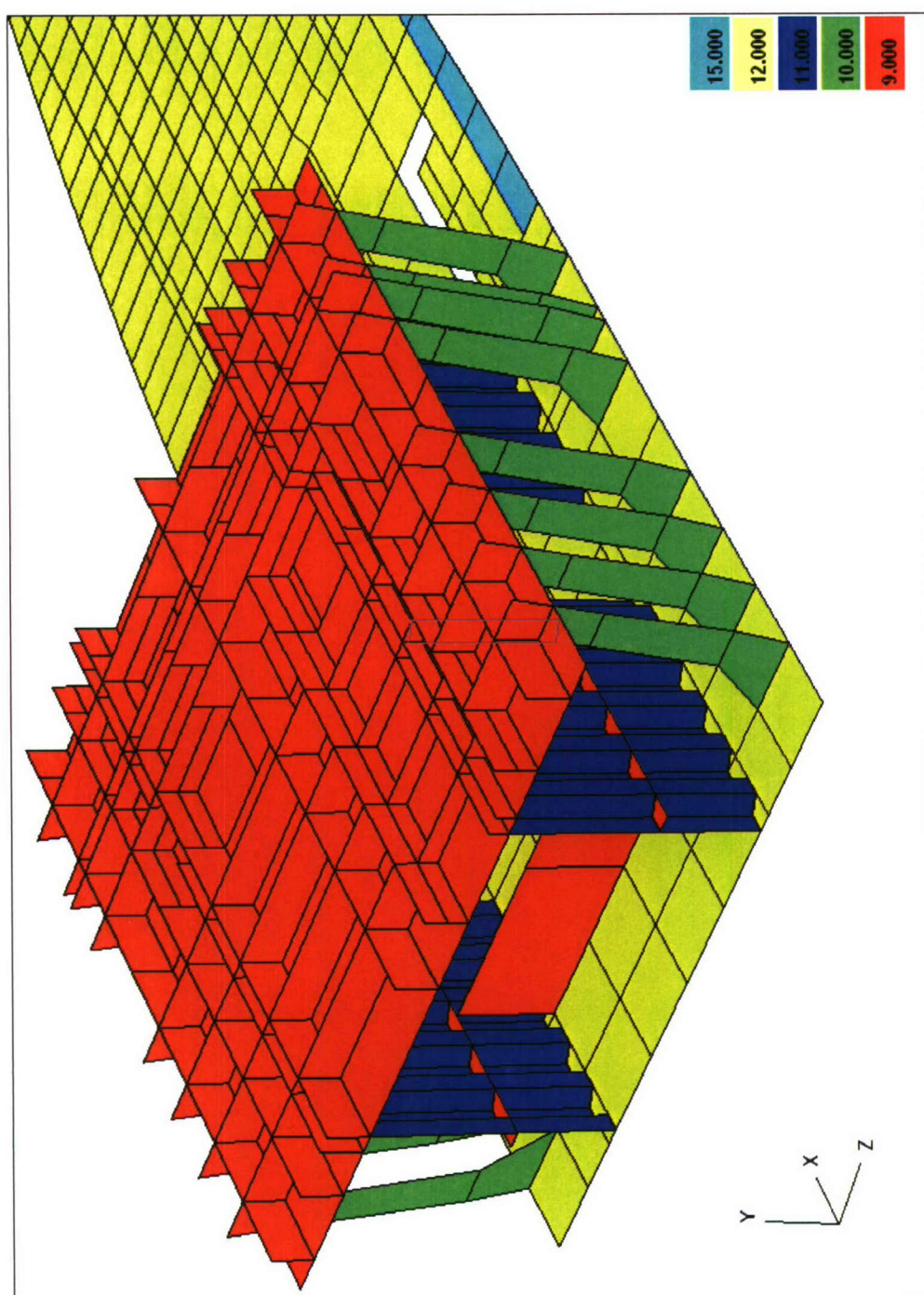
Figuur 53 E & D-dek, plaatdikte

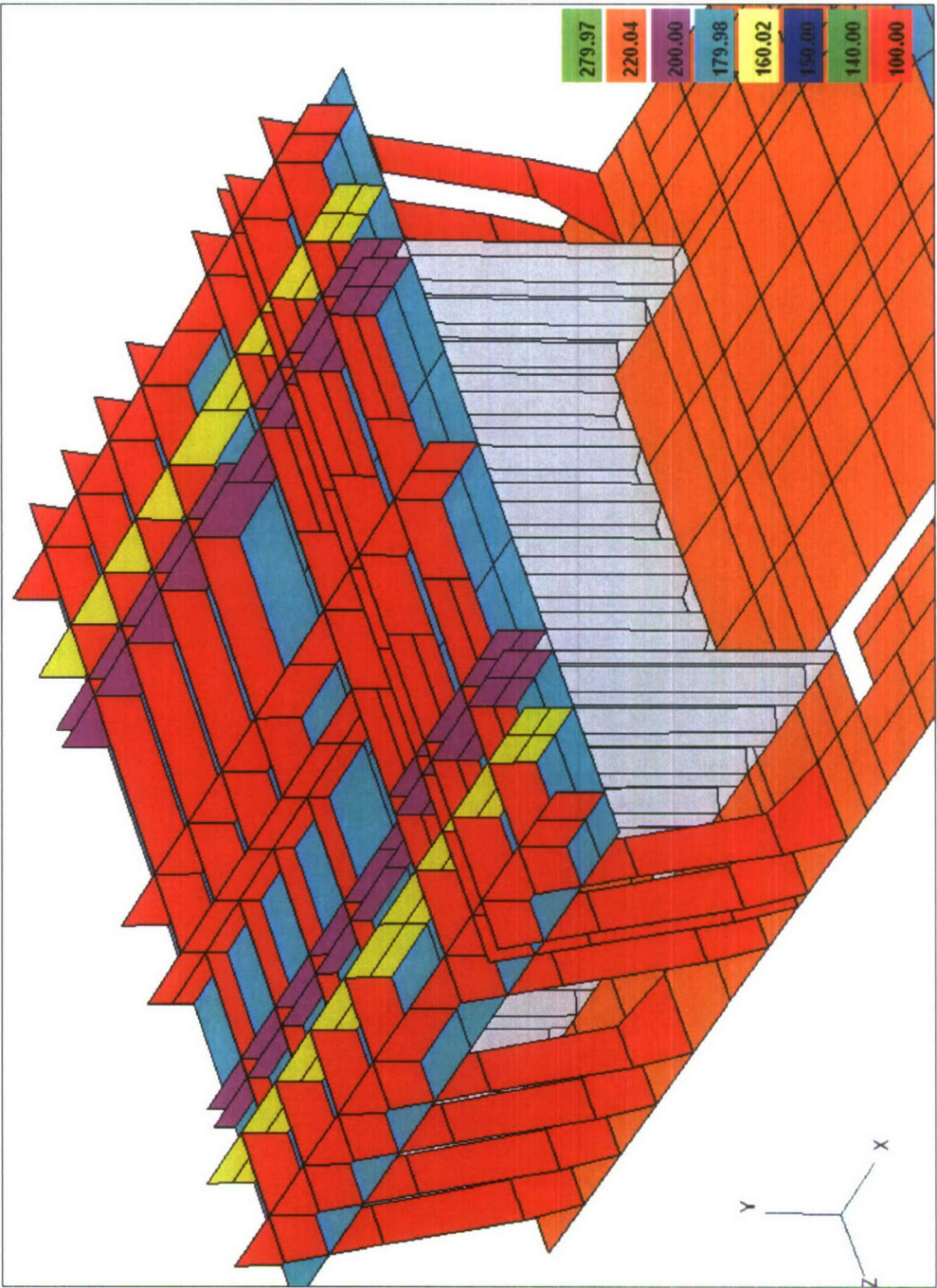


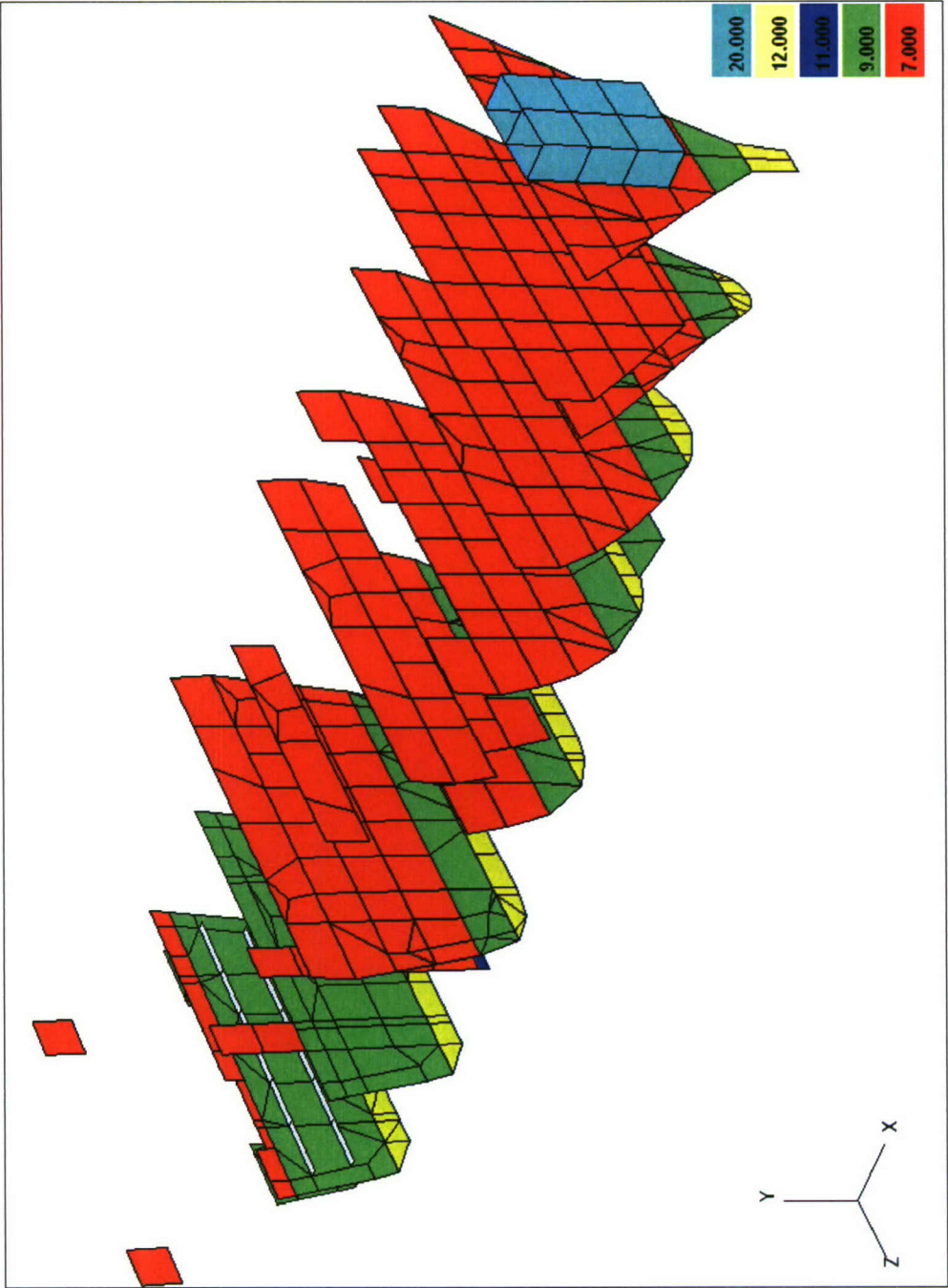
Figuur 54 E & D-dek, verstijverhoogte



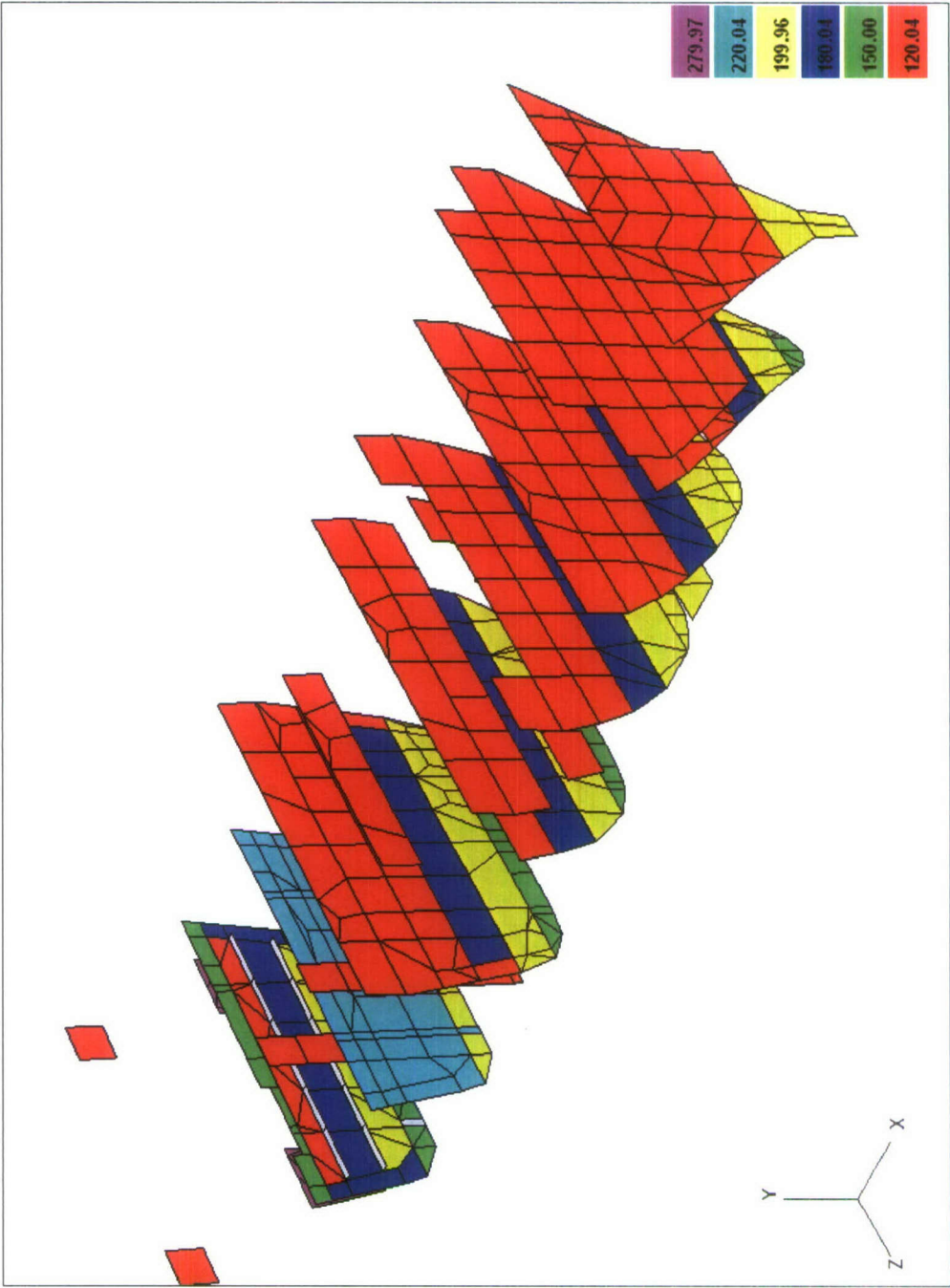


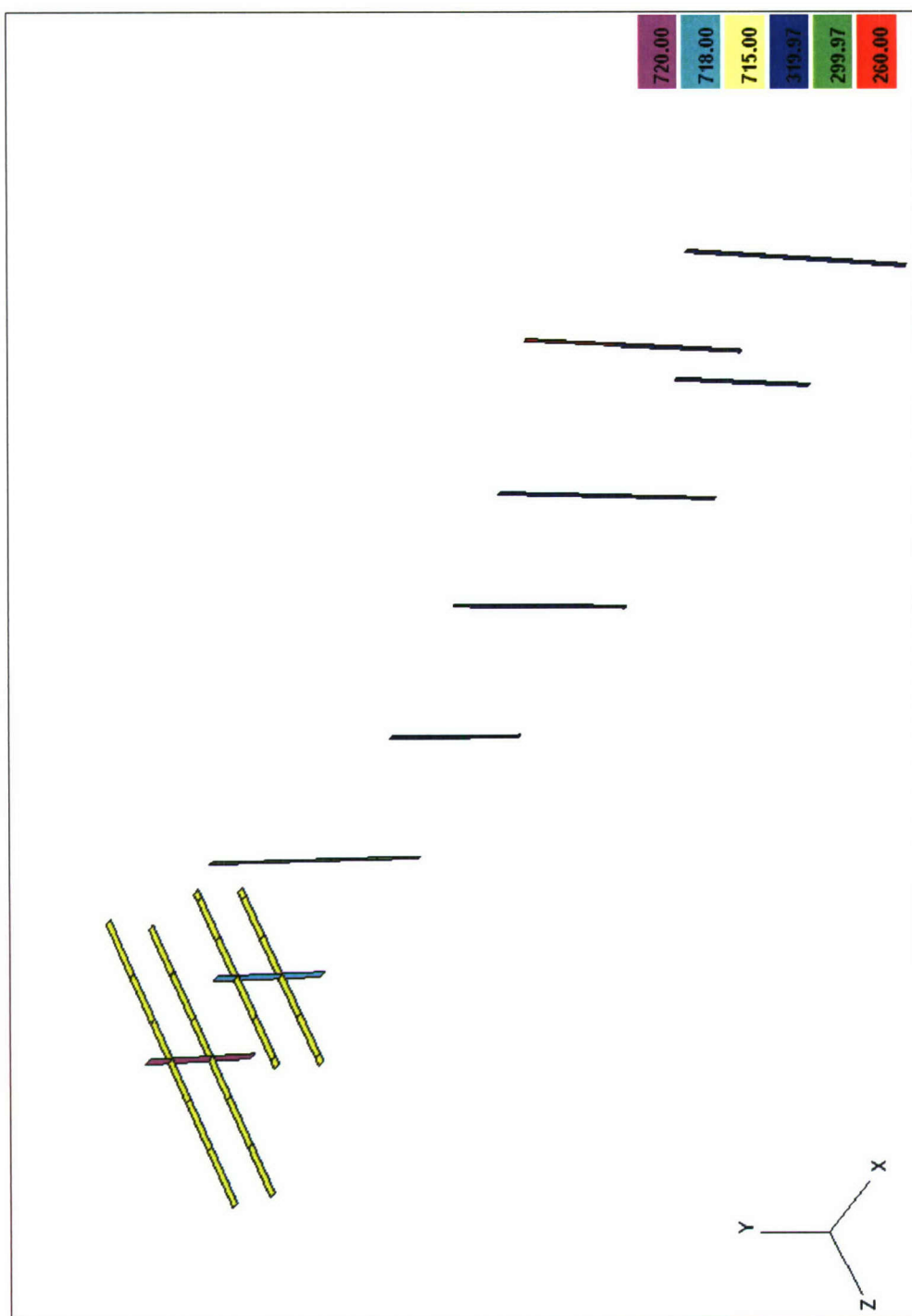


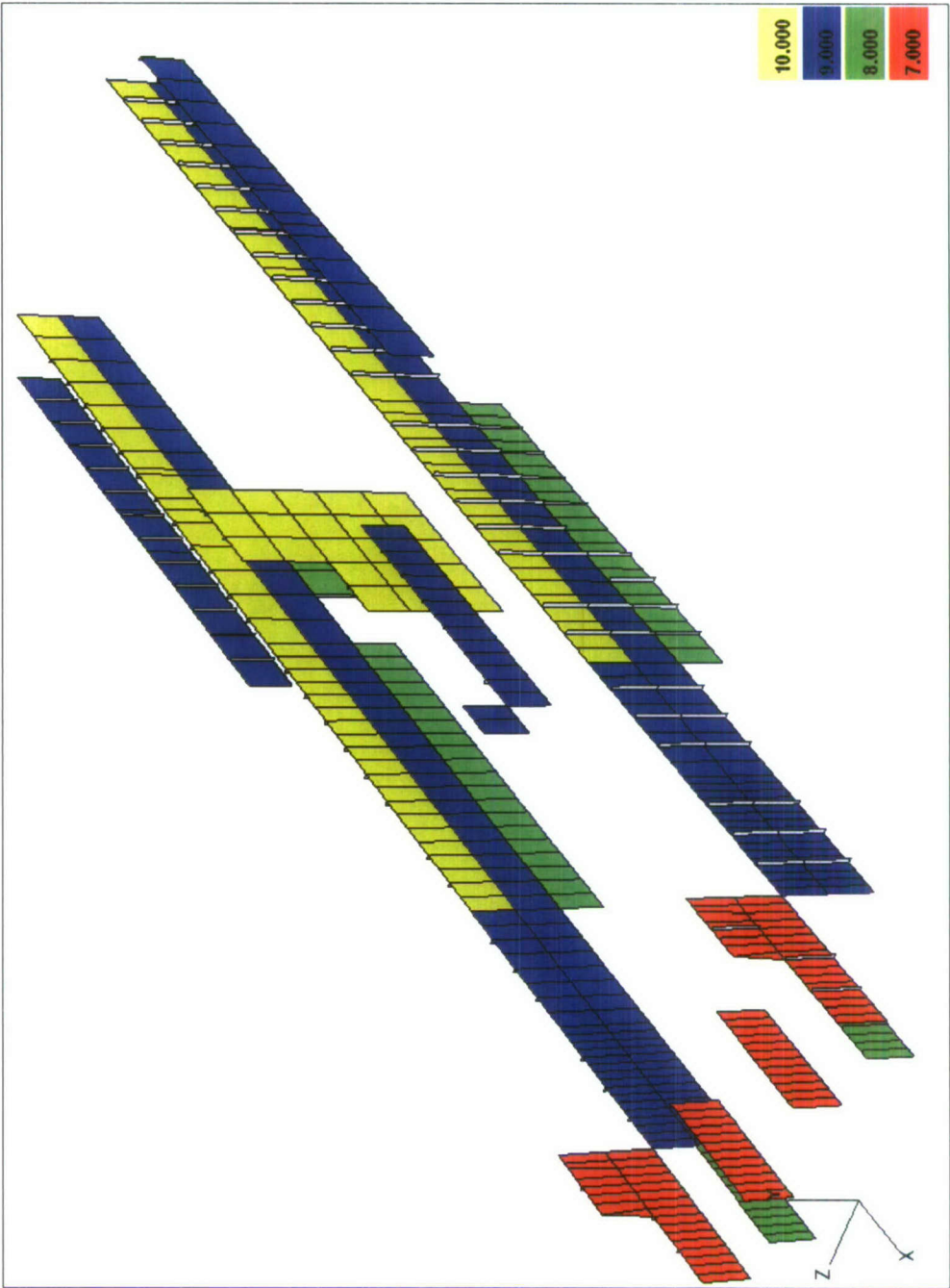




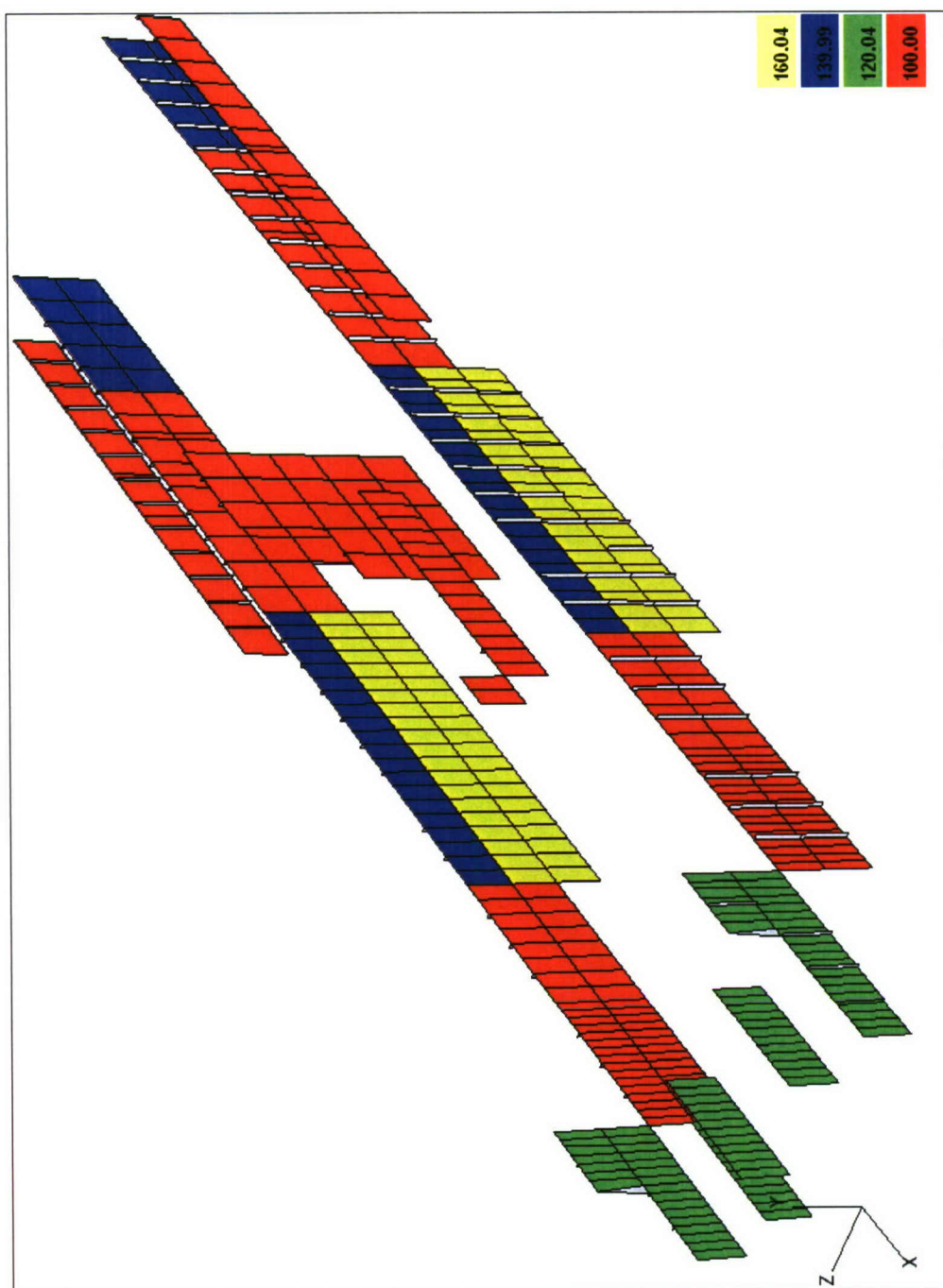


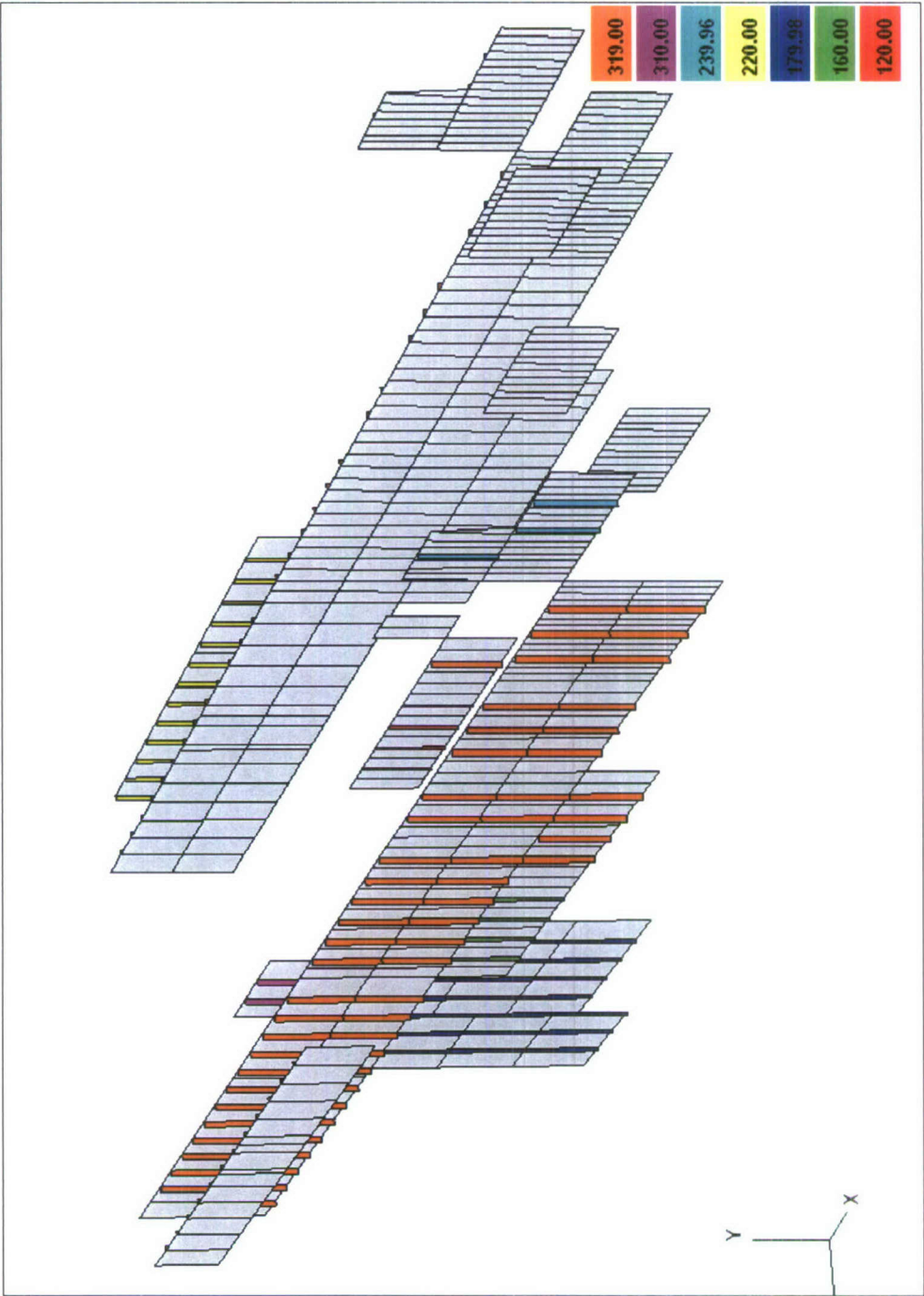


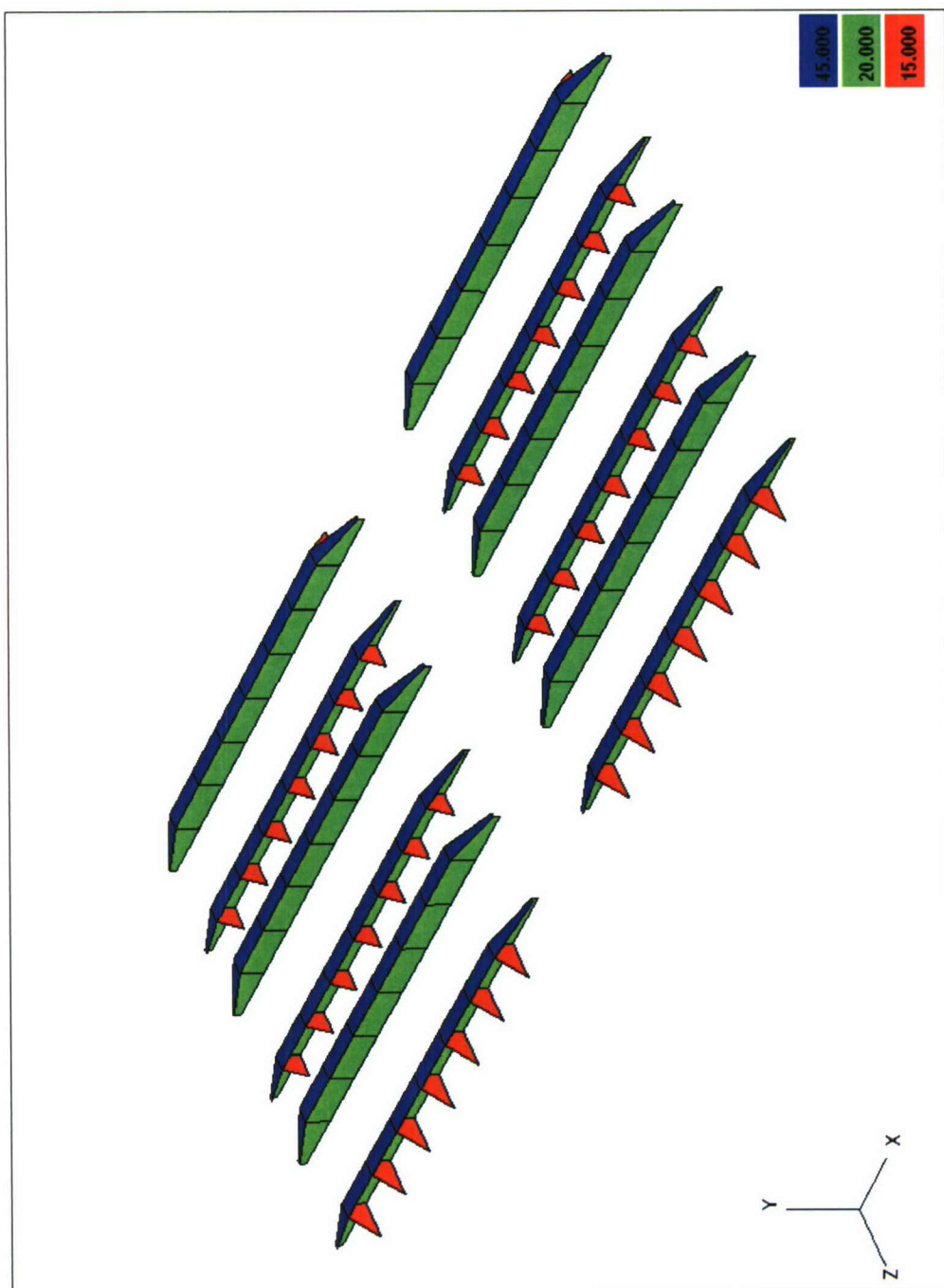




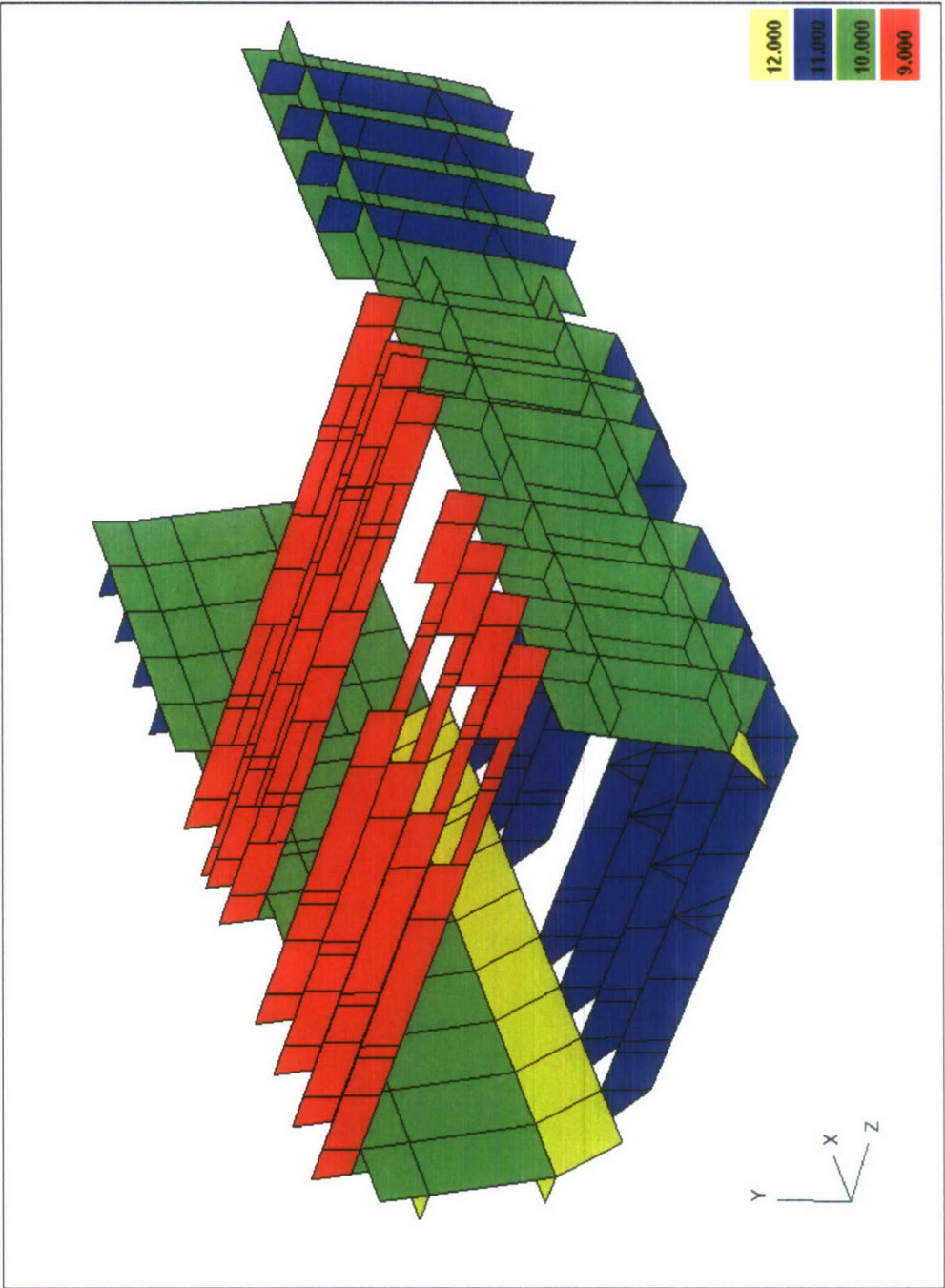


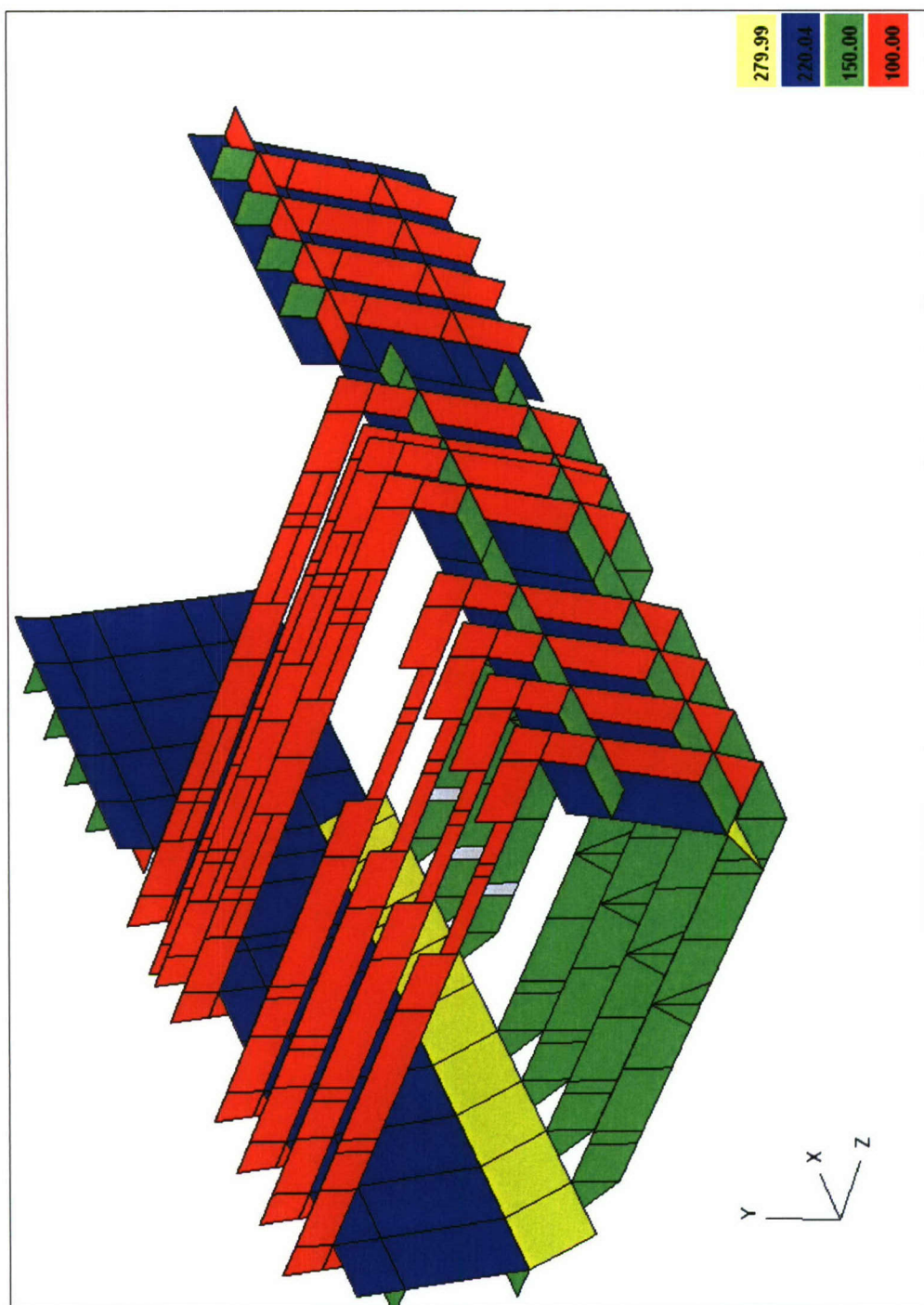




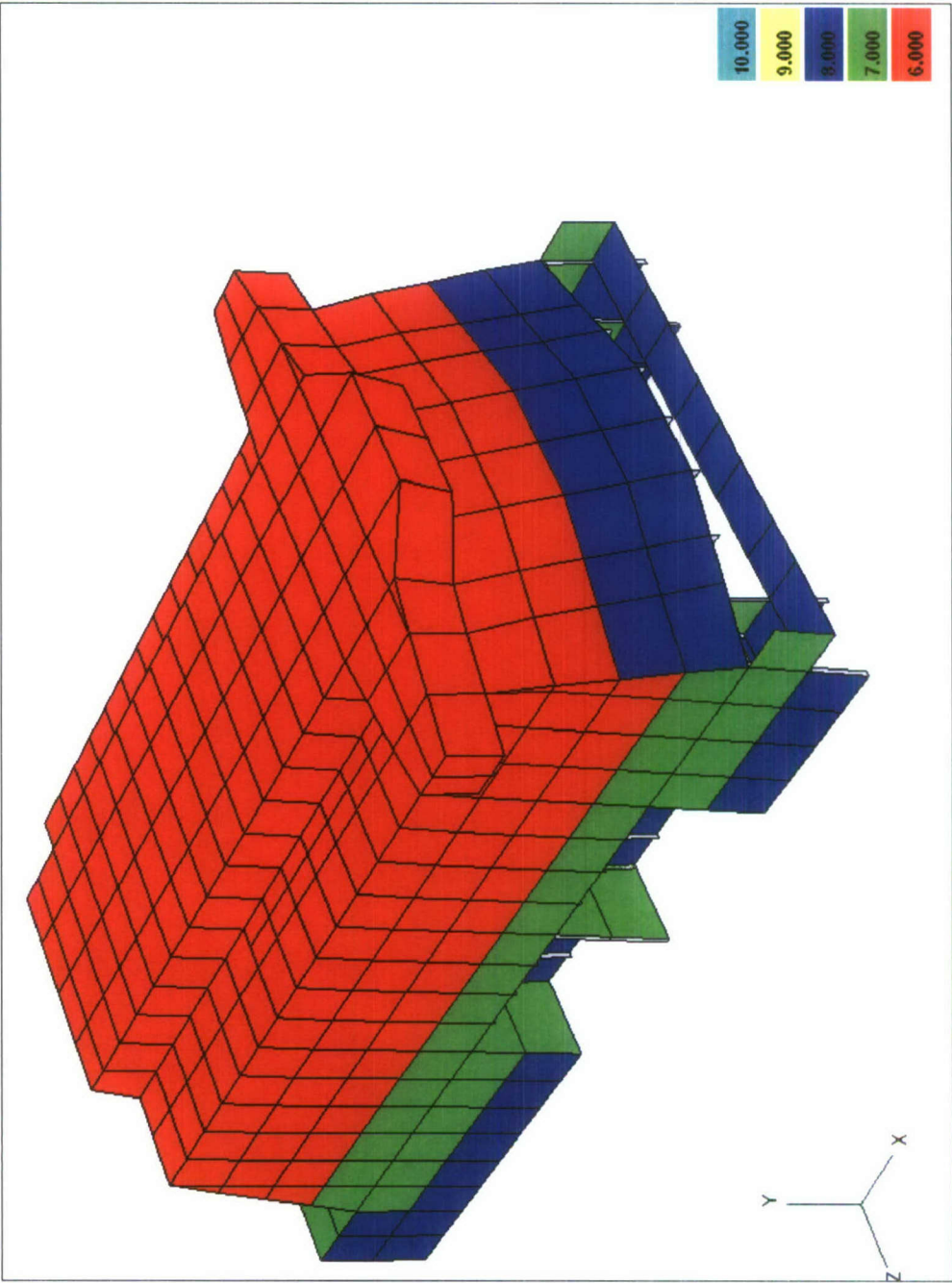




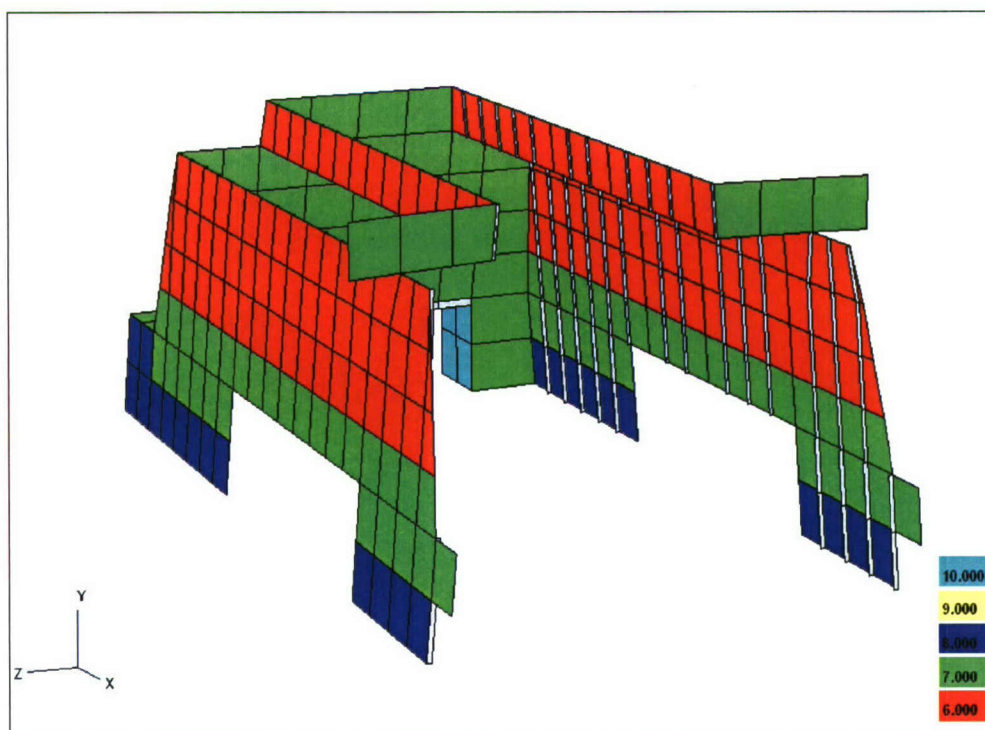




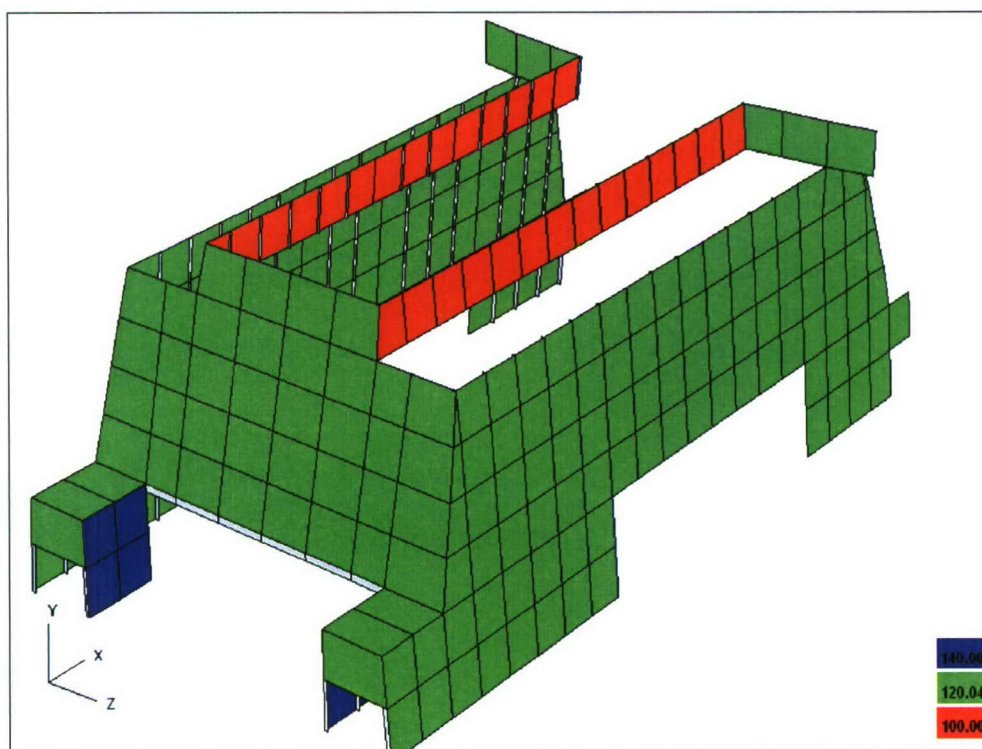
A.3 Bovenbouw



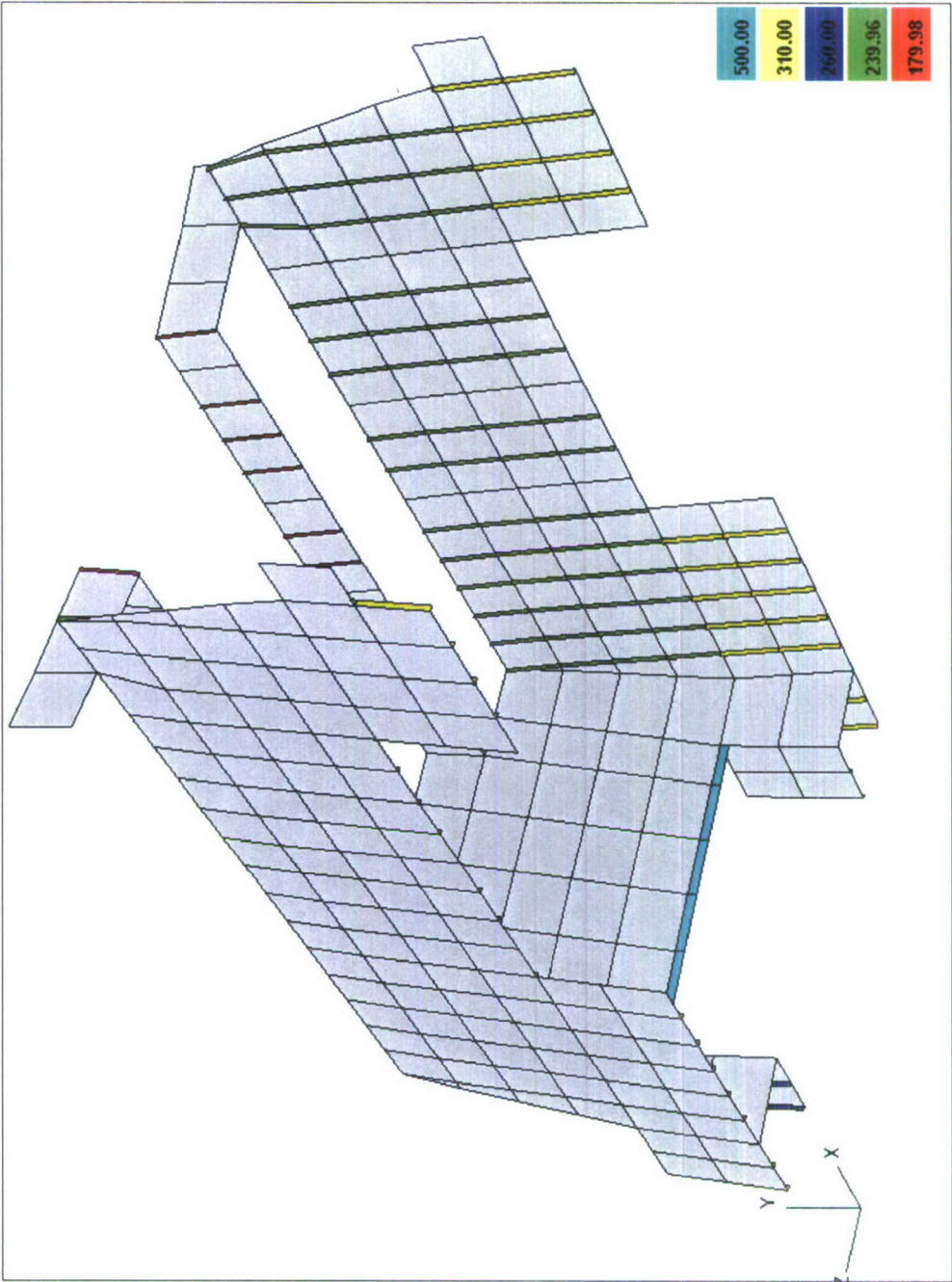


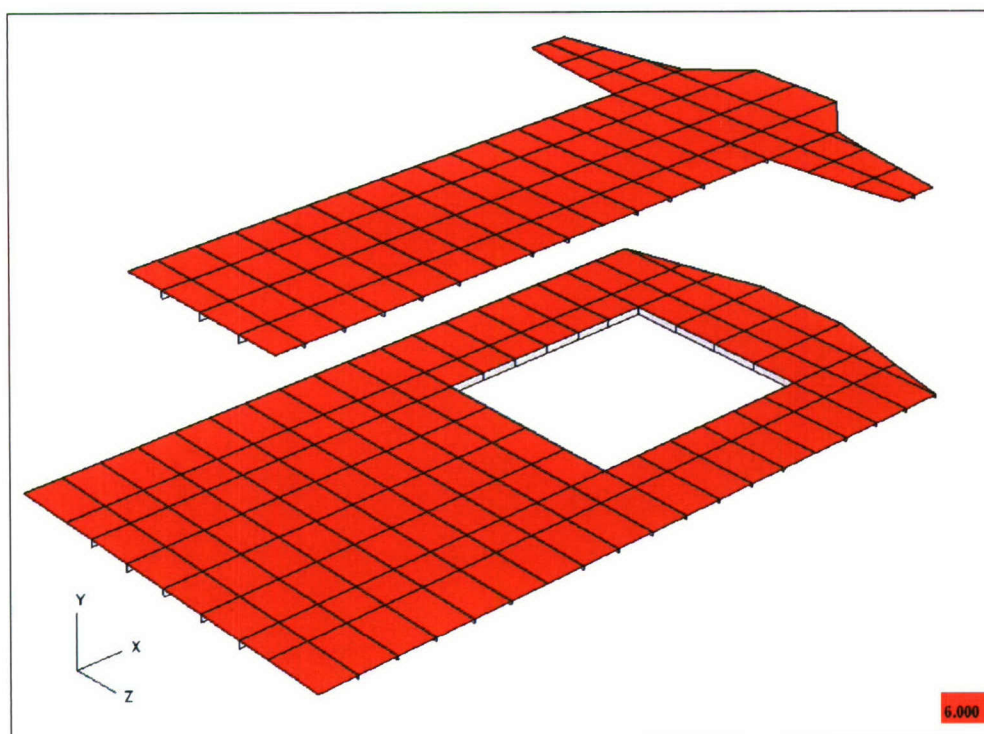


Figuur 68 Bovenbouw Huid, plaatdikte

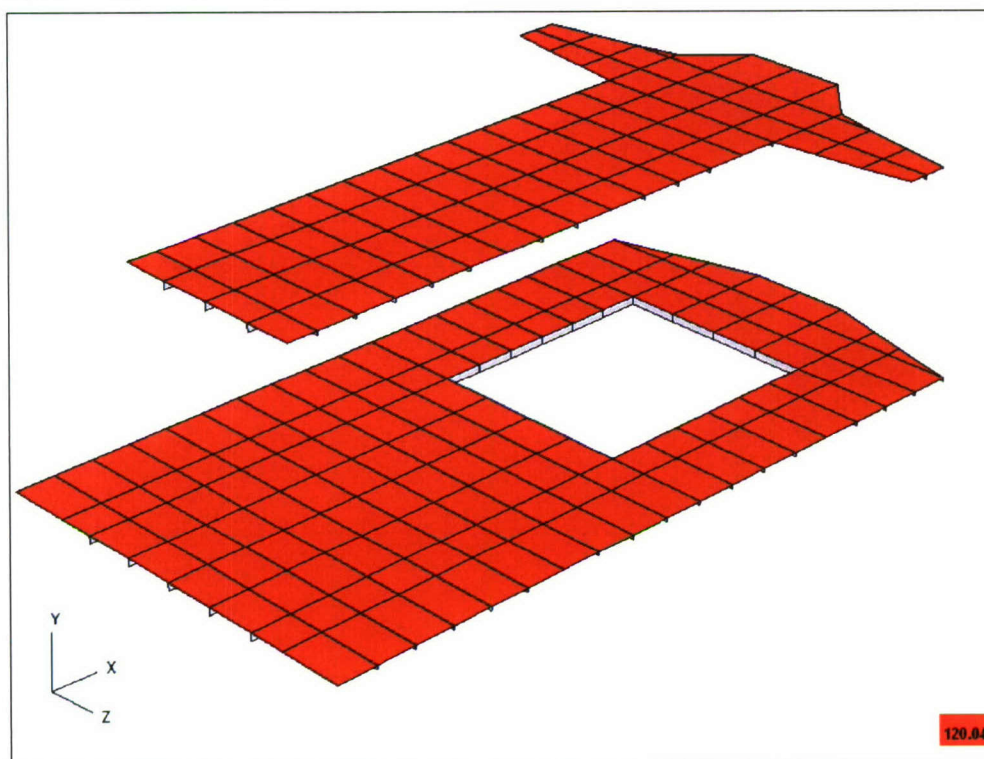


Figuur 69 Bovenbouw Huid, verstijverhoogte



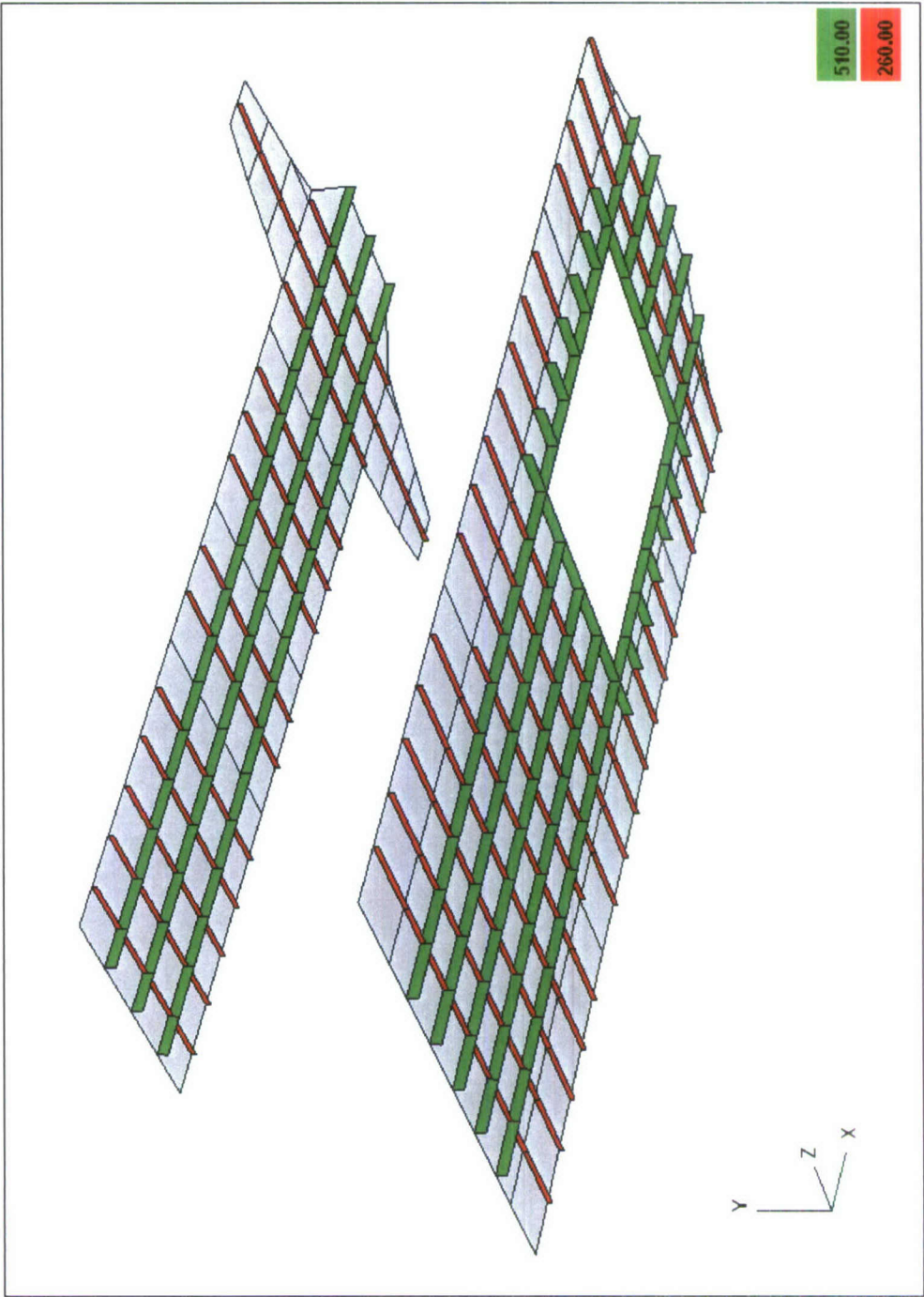


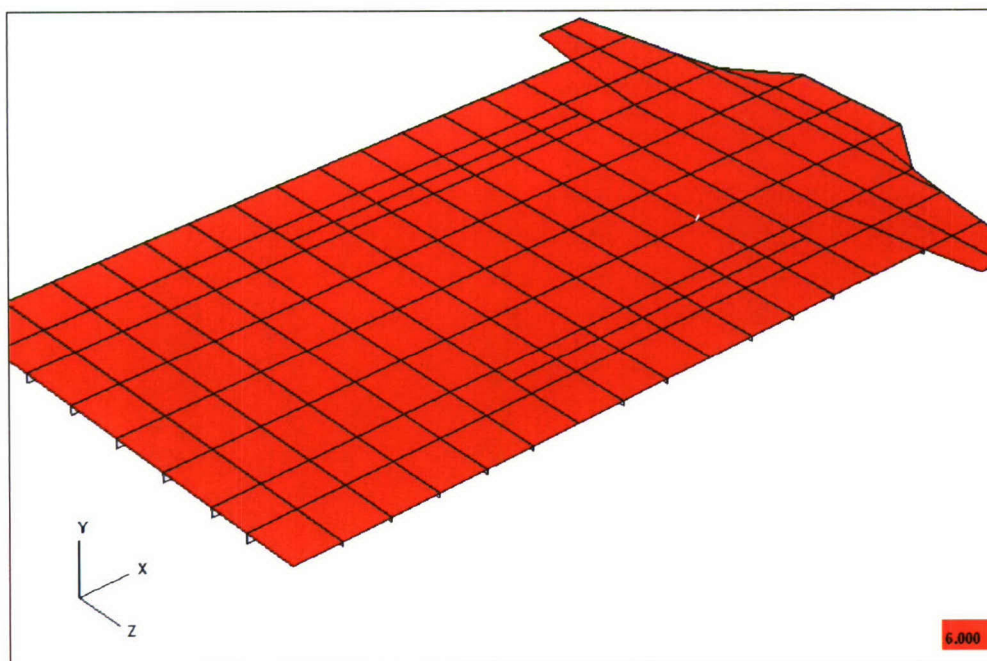
Figuur 71 Top Dek & D-dek, plaatdikte



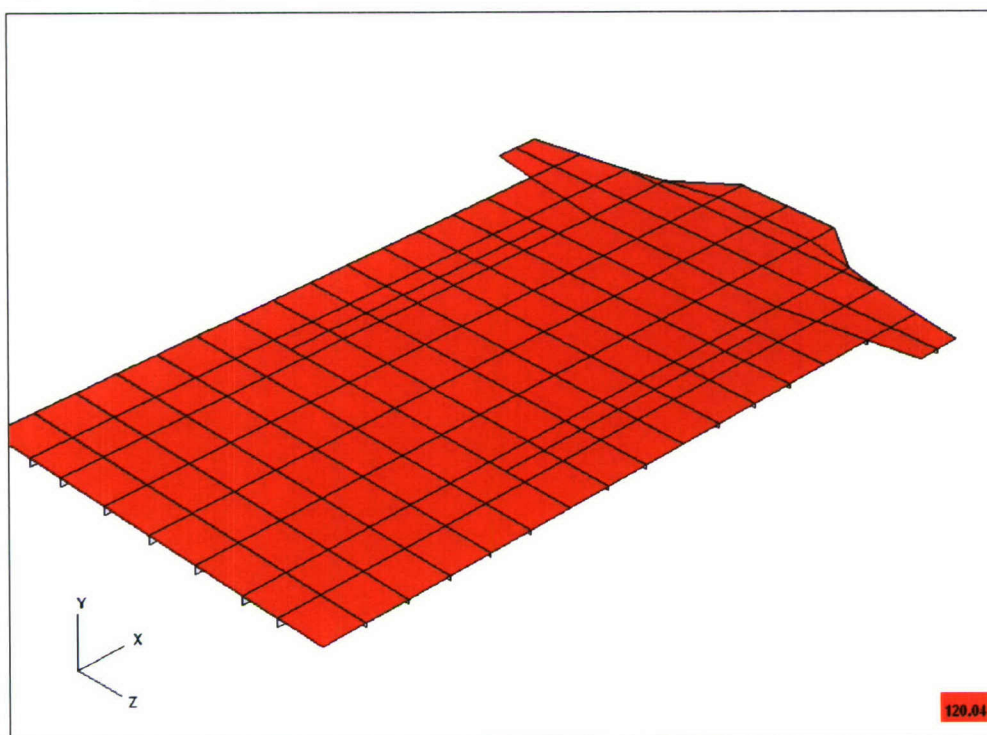
Figuur 72 Top dek en D-dek, verstijverhoogte



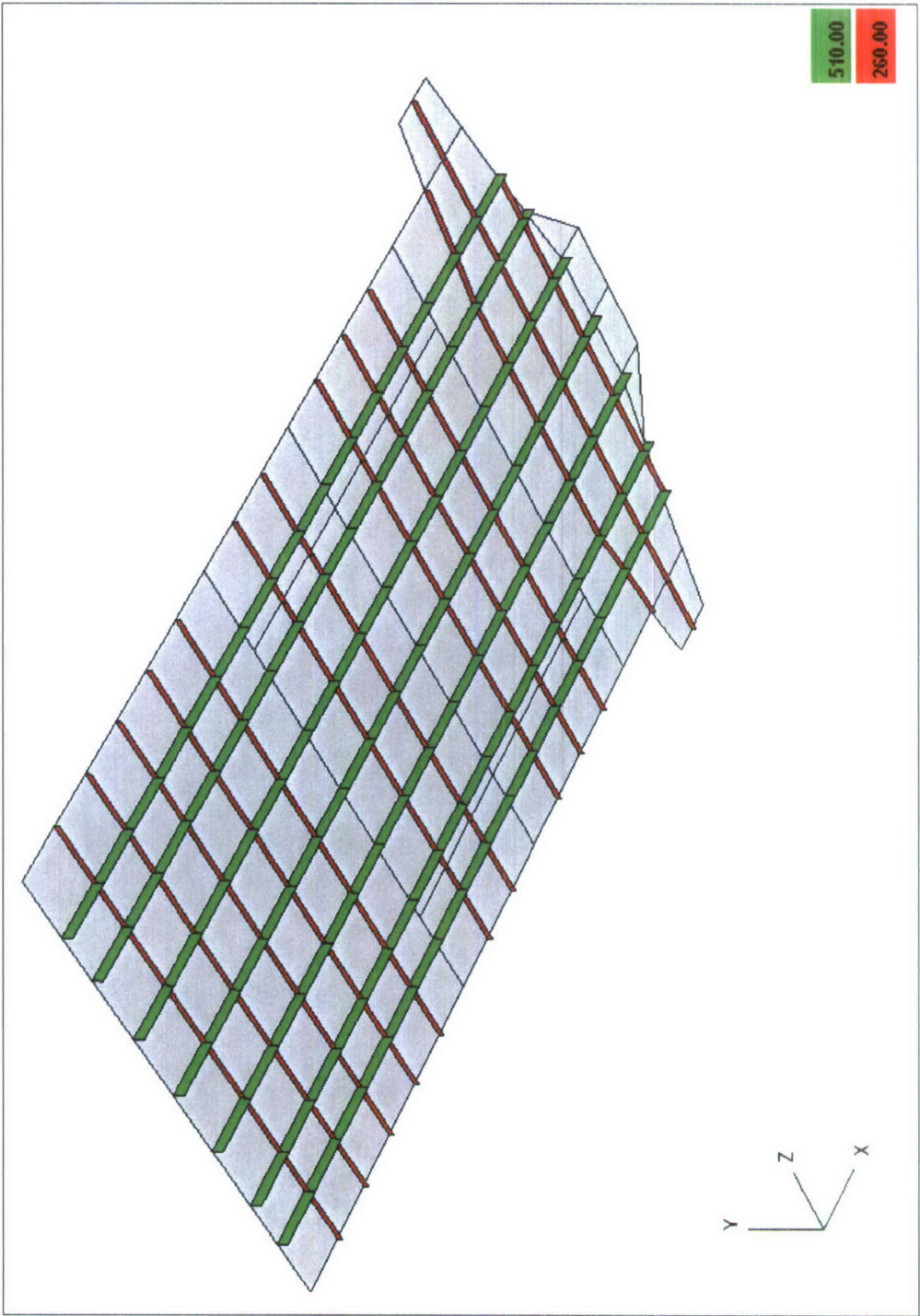




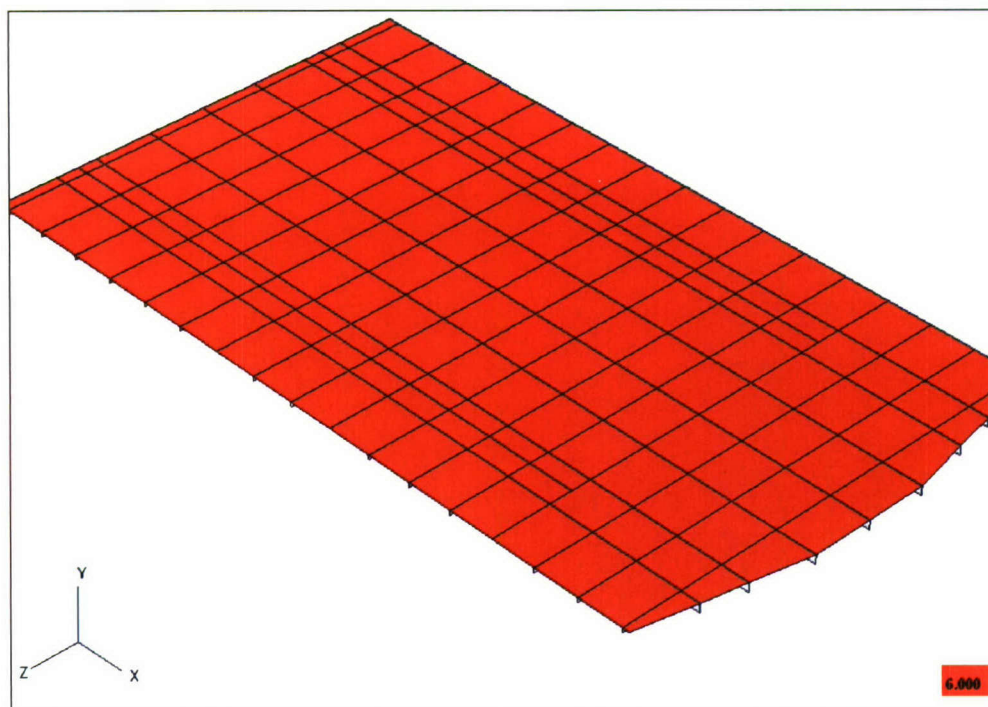
Figuur 74 Bridge dek, plaatdikte



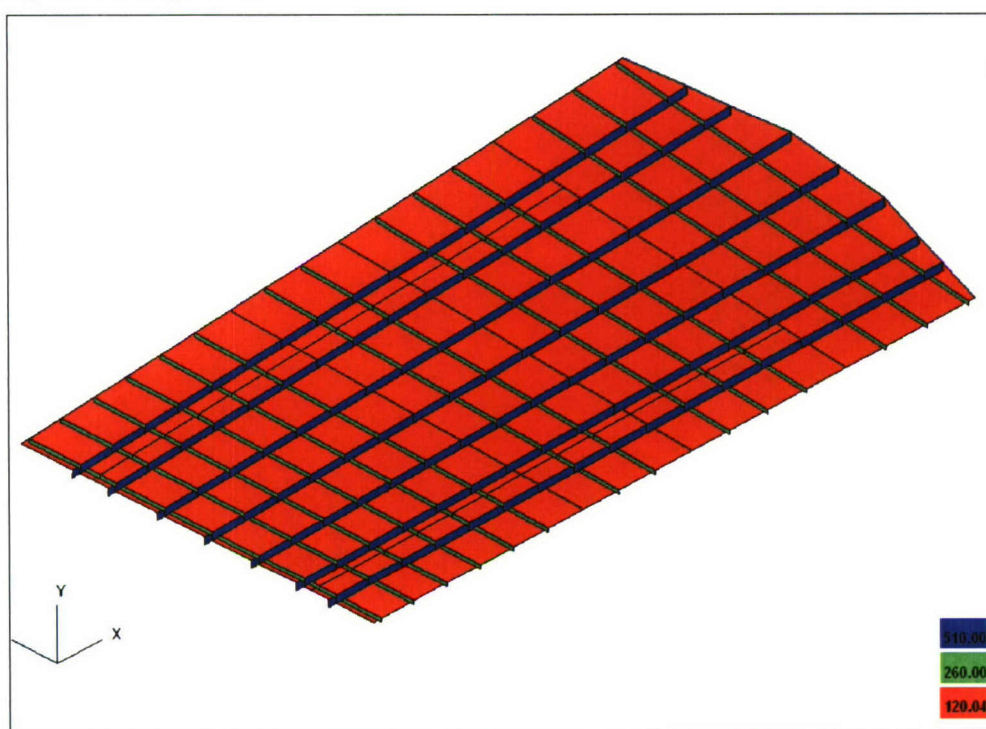
Figuur 75 Bridge dek, verstijverhoogte



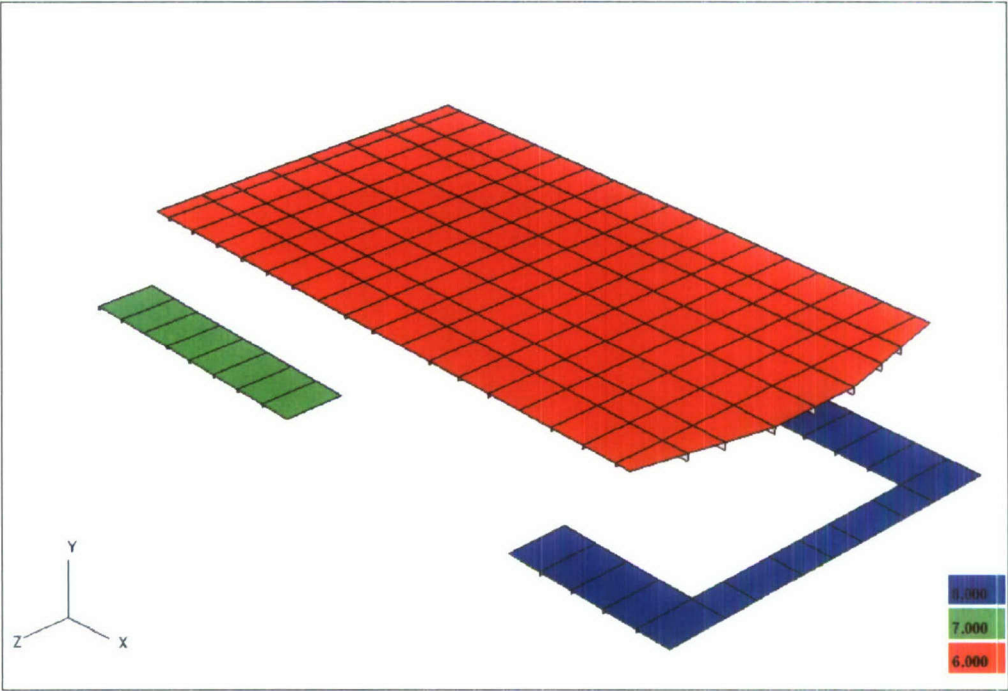




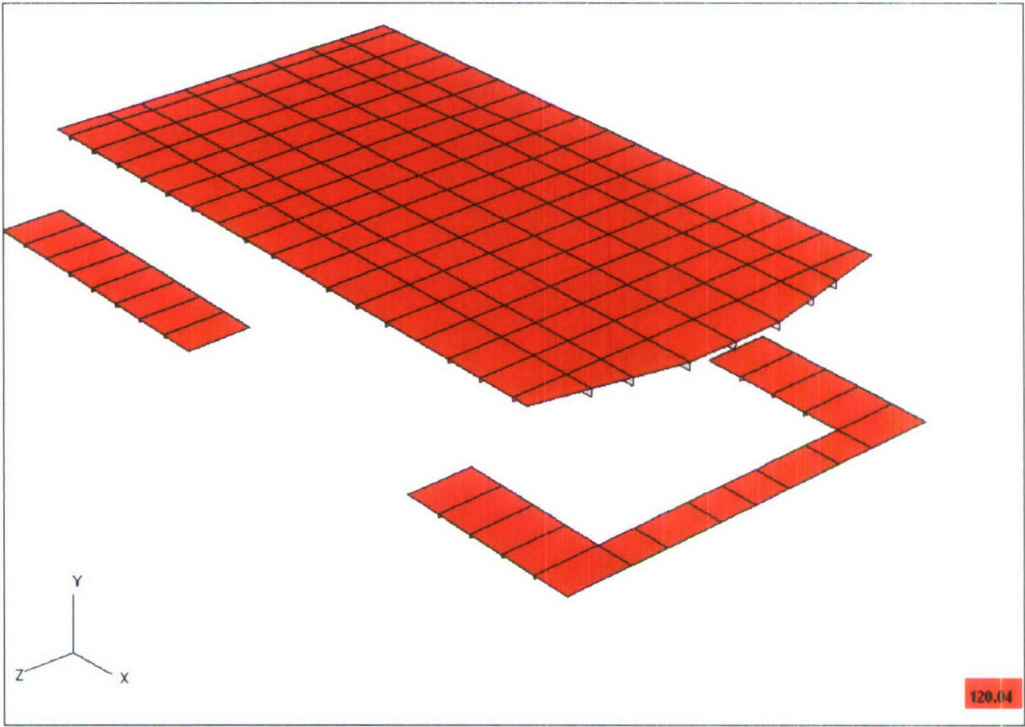
Figuur 77 A-dek, plaatdikte



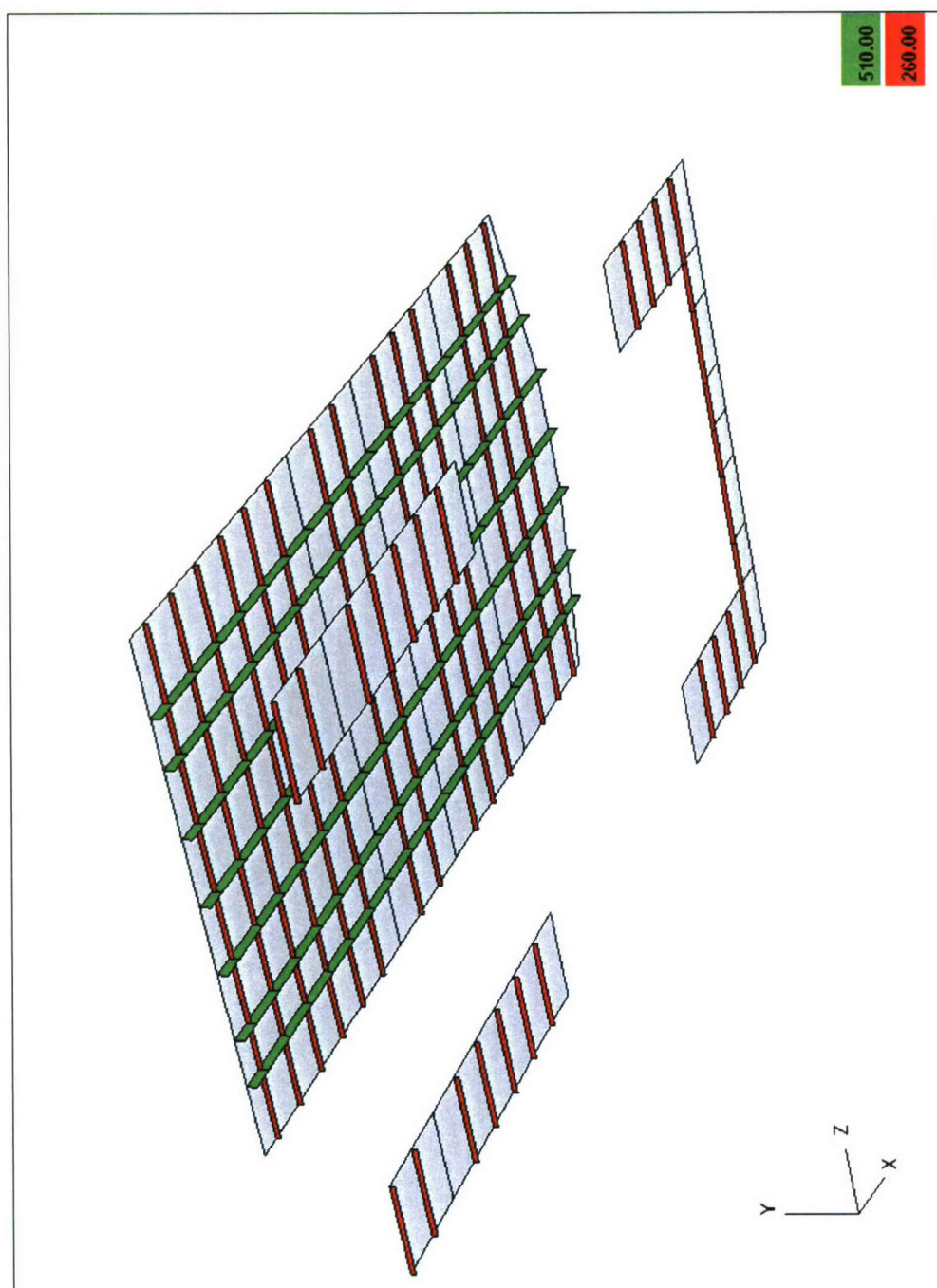
Figuur 78 A-dek, verstijver en webframehoogte



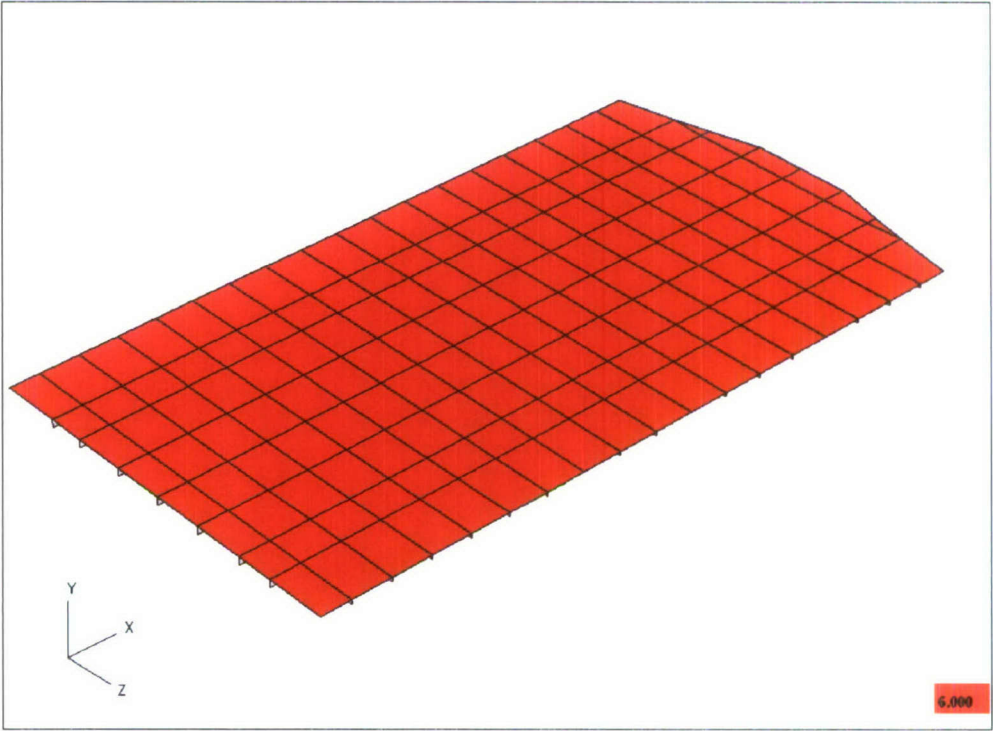
Figuur 79 E & B-dek, plaatdikte



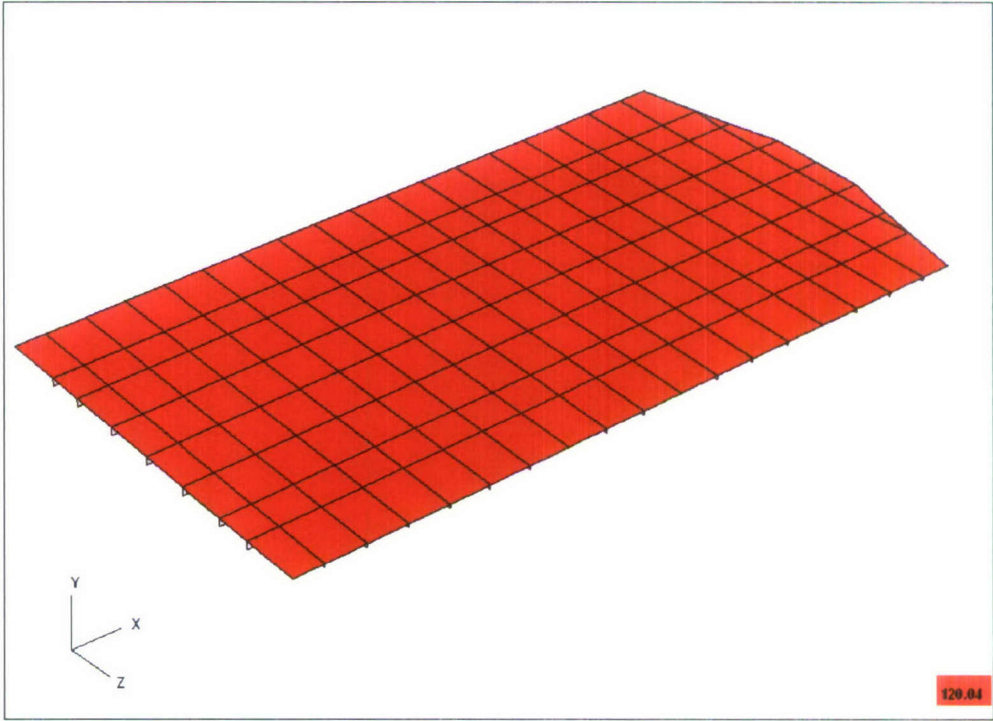
Figuur 80 E & B-dek, verstijverhoogte



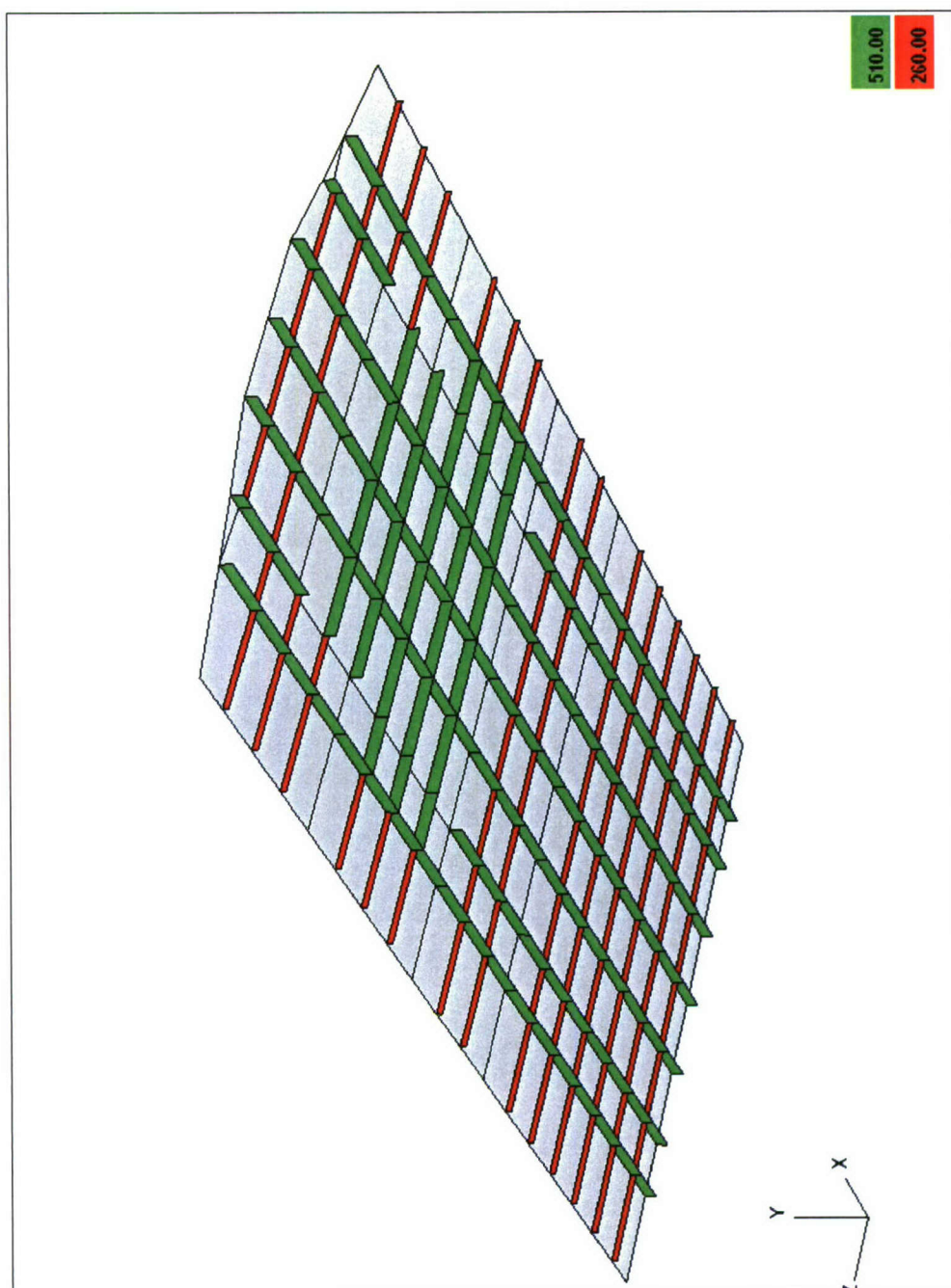


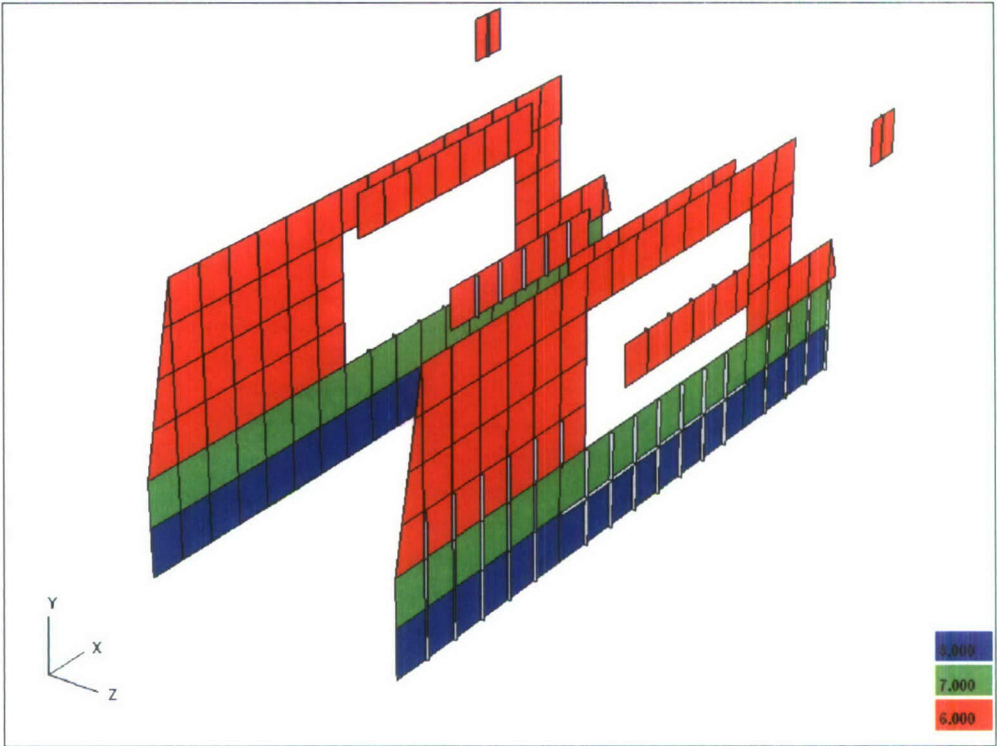


Figuur 82 C-dek, plaatdikte

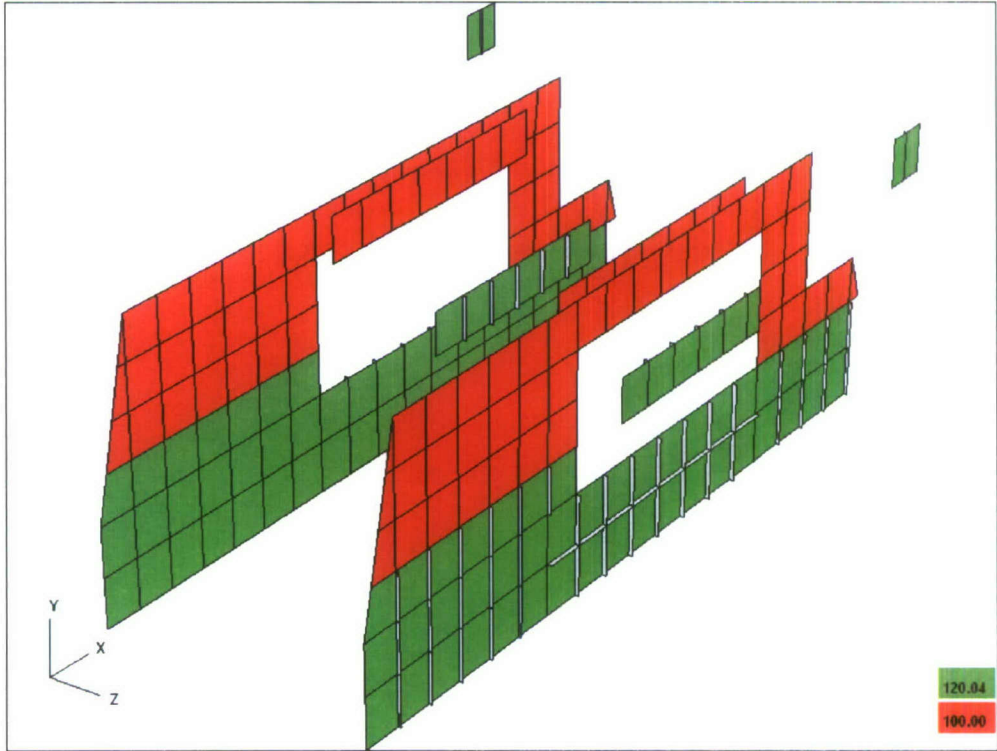


Figuur 83 C-dek, verstijverhoogte



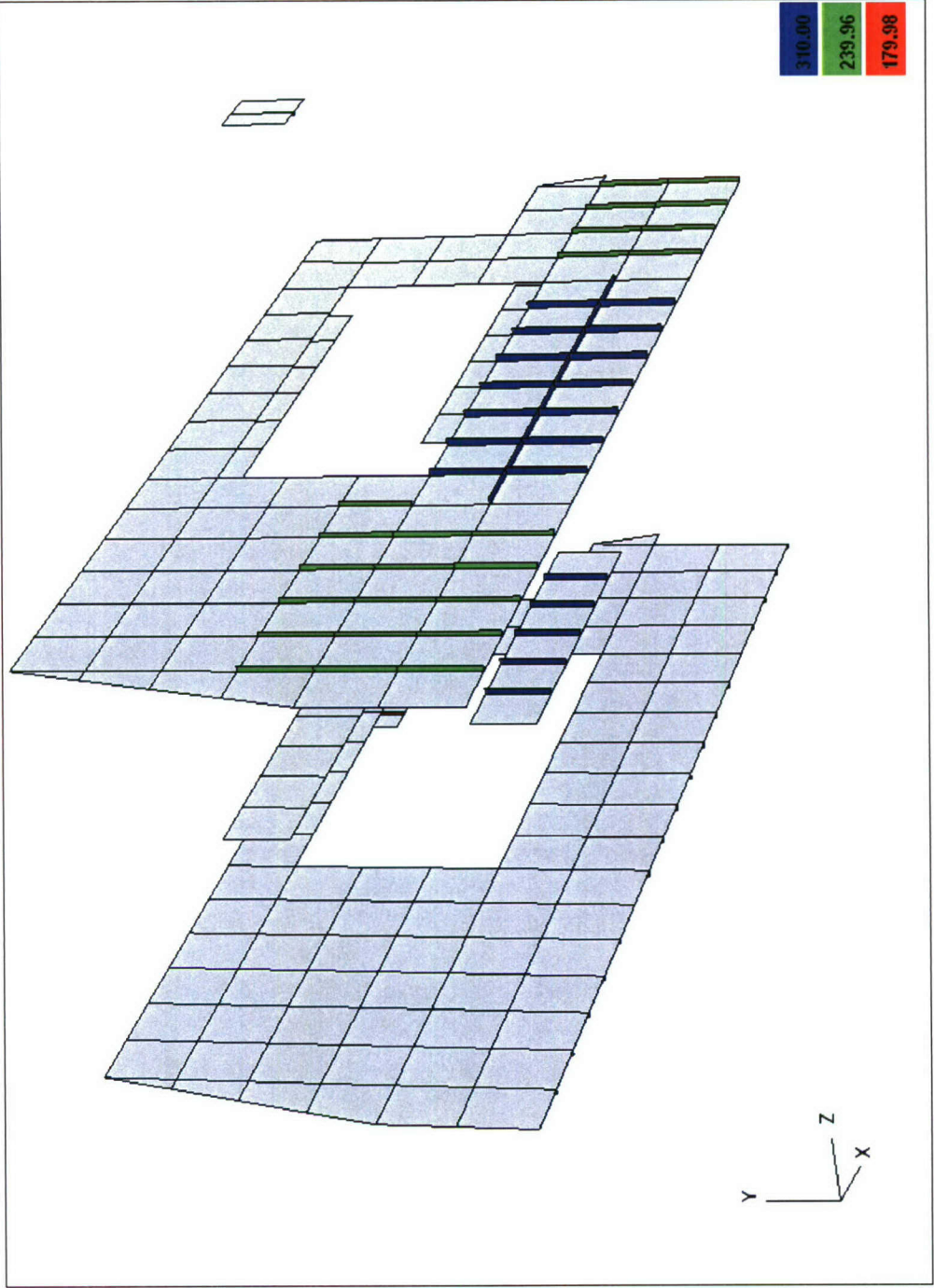


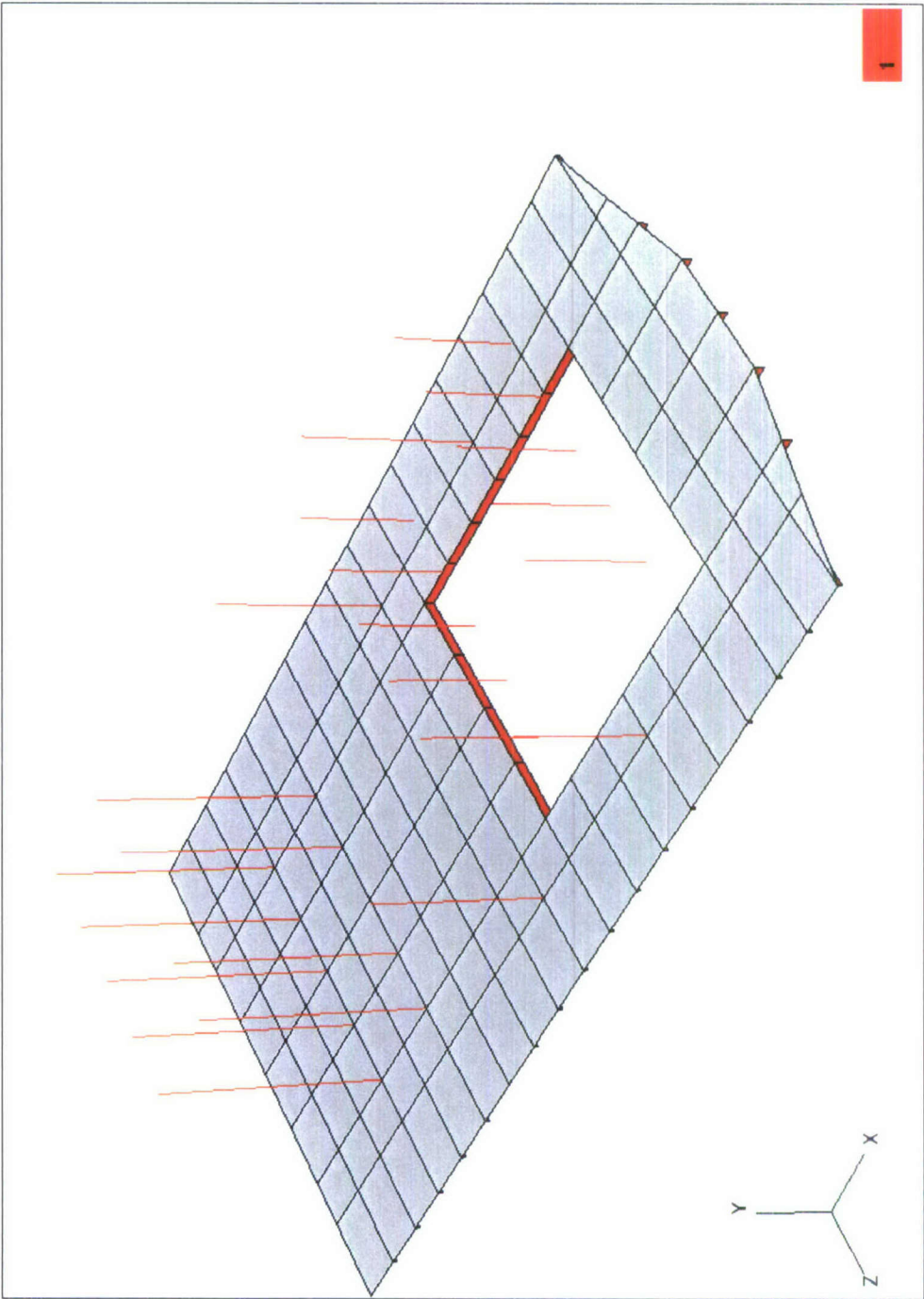
Figuur 85 Langsschotten, plaatdikte



Figuur 86 Langsschotten, verstijverhoogte











**ONGERUBRICEERD**  
**REPORT DOCUMENTATION PAGE**  
**(MOD-NL)**

1. DEFENCE REPORT NO (MOD-NL) <b>TD 2008-0507</b>	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO <b>-</b>	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO <b>2008-D-R0437</b>
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO <b>034.87410/01.01</b>	5. CONTRACT NO <b>Opdrachtnummer</b>	6. REPORT DATE <b>15 March 2008</b>
7. NUMBER OF PAGES <b>114 incl. 1 appendice, excl RDP &amp; distribution list)</b>	8. NUMBER OF REFERENCES <b>-</b>	9. TYPE OF REPORT EN DATES COVERED <b>Draft/Final</b>
10. TITLE EN SUBTITLE <b>Evaluation Structure Joint Support Ship (Evaluatie Constructie Joint Support Ship)</b>		
11. AUTHOR(S) <b>Ir. T.N. Bosman</b>		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) EN ADDRESS(ES) <b>TNO Built Environment and Geosciences, P.O. Box 49, 2600 AA Delft, The Netherlands Van Mourik Broekmanweg 6, Delft, The Netherlands</b>		
13. SPONSORING AGENCY NAME(S) EN ADDRESS(ES) <b>Ministry of Defence, Materiel Organisation</b>		
14. SUPPLEMENTARY NOTES <b>The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified, Stg. Confidentieel is equivalent to Confidential en Stg. Geheim is equivalent to Secret.</b>		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE)) <b>A global strength and stiffness calculation is performed. The strength analysis shows that the structure fulfills the DNV class society rules with respect to allowable stresses. Local fatigue problems are identified. The global natural frequencies including fluid added mass are established. The minimum required natural frequency of decks is defined. A comparison of the structural weight distribution as calculated and modeled is made, showing significant differences.</b>		
16. DESCRIPTORS <b>Structural strength, ship structure, natural frequencies</b>		IDENTIFIERS
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) <b>Ongerubriceerd</b>	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) <b>Ongerubriceerd</b>	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) <b>Ongerubriceerd</b>
18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT <b>Unlimited Distribution/Subject to approval MOD-NL</b>		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) <b>Ongerubriceerd</b>

**ONGERUBRICEERD**

## Distributielijst

### **Rapport 2008-D-R0437**

#### **Evaluatie Constructie Joint Support Ship**

	Aantal exemplaren
DMO/SC-DR&D	1
DMO/DR&D/Hfd.Kennistransfer	2
Programmabegeleider Ir. A. van der Made, DMO, Ressort Zee	1
Programmaleider Ir. A. Schilt, TNO D&V	1
Projectbegeleider Ir. A. van der Made, DMO, Ressort Zee	1
Projectleider Ir. T.N. Bosman, TNO B&O	1
Algemeen Directeur TNO Defensie en Veiligheid	1
Bibliotheek KMA	3